This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

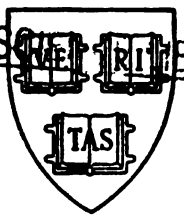
Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

CABOT SCIENCE LIBRARY
HS 119R /

BIOL
1426
P47

Digitized by Google

TRANSFERRED TO
HARVARD UNIVERSITY
DE 1999
CABOT SCIENCE LIBRARY



LIBRARY OF THE
BIOLOGICAL LABORATORIES

TRANS
D
9
CABOT SC
RARY

Digitized by Google

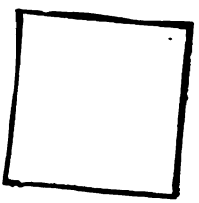
Plant Physiology
1877
cop 1

Digitized by Google

Digitized by Google

This copy was given by Pfeffer to Hanstein, his former teacher.

The marginal notes are Hanstein's and have been seen by Pfeffer.



Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

OSMOTISCHE

UNTERSUCHUNGEN.

STUDIEN ZUR ZELLMECHANIK

VON

Wilhelm
DR. W. PFEFFER,
PROFESSOR DER BOTANIK IN BASEL.

MIT FÜNF HOLZSCHNITTEN.

LEIPZIG,
VERLAG VON WILHELM ENGELMANN.
1877.

Digitized by Google

B. Lab 958.77

Botan. Lab.
1898 June 23
Gift of
G. L. Goodale

BIOLOGICAL LABORATORIES LIBRARY
HARVARD UNIVERSITY

Uebersetzungsrecht vorbehalten.

Digitized by Google

VORWORT.

Während ich bestrebt war gewisse Bewegungsvorgänge auf den zu Grunde liegenden Zellmechanismus zurückzuführen, stiess ich auf Thatsachen, welche erst causal erklärt werden mussten, ehe auf ein erfolgreiches weiteres Vordringen zu rechnen war. Vor allem musste die Ursache der auffallend hohen hydrostatischen Druckkraft aufgedeckt werden, welche auch in Pflanzenzellen besteht, deren Zellsaft eine nur verdünnte Lösung ist, und hier wurde aus den Beobachtungen in der Pflanzenzelle die Fragestellung für experimentelle Erforschung abgeleitet. Welche osmotische Druckkraft erzeugen gelöste Körper, speciell die sogenannten Krystalloide, wenn sie nicht diosmiren? — so lautete die nächste Frage und Traube's Niederschlagsmembranen ermöglichten nach dem Muster der Pflanzenzelle den Apparat zu construiren, welcher zu den im physikalischen Theile niedergelegten Untersuchungen diente.

Durchaus von physiologischen Gesichtspunkten geleitet, wurde in den physikalischen Untersuchungen der Faden gelegentlich gerade da fallen gelassen, wo der Physiker von seinem Standpunkte aus die interessantesten Angriffspunkte erst gefunden haben würde. Meine wesentliche physio-

Digitized by Google

logische Aufgabe war aber, an der Hand der gewonnenen physikalischen Erfahrungen die maassgebenden Fundamente für die Zellmechanik osmotischer Vorgänge zu suchen. Auf Grund dieser Fundamente habe ich dann specielle physiologische Erscheinungen beleuchtet, um die derzeitige Sachlage klar zu legen. Hoffentlich wird dieses den Anstoss geben, dass auch Andere thätig auf einem Gebiete eingreifen, welchem die Arbeitskraft eines Einzelnen nicht entfernt gewachsen ist; denn osmotische Vorgänge kommen beinahe für alle Fragen in Betracht, welche sich auf Stoffwechsel und Kraftwechsel im Organismus beziehen.

Bonn, November 1876.

W. Pfeffer.

Digitized by Google

INHALT.

I. Physikalischer Theil.

A. Apparate und Methode.

Seite

1. Herstellung der Zellen 3
2. Messung des osmotischen Wasserstroms 14
3. Filtration unter Druck 17
4. Messung der Druckhöhe 20
5. Berechnung der Druckhöhe 23
6. Herstellung und Controle der benutzten Lösungen 25

B. Versuche und Folgerungen.

7. Structur der Membran und Wege des osmotischen Austausches 30
   Entstehung der Niederschlagsmembranen. — Aufbau aus Molecülverbindungen (Tagmen). — Bewegung von Flüssigkeit durch die Tagmen und durch intertagmatische Räume. — Brücke's Theorie der Diosmose. — Unterscheidung von capillarer und molecularer Osmose. — Die Diosmose gibt kein relatives Maass für Moleculargrösse der diosmirenden Körper. — Unsere Niederschlagsmembranen gestatten wahrscheinlichst nur moleculare Osmose.
8. Diosmose gelöster Körper 46
   Orientirung über meine Aufgabe. — Versuche mit einigen Stoffen.
9. Osmotischer Wasserstrom ohne Diosmose des wirkenden Körpers 49
   Theoretische Darlegung. — Die wirksame Diffusionszone. — Beziehung zwischen osmotischer Wirkung und Diffusionsconstante.
10. Osmotischer Wasserstrom mit Diosmose des wirkenden Körpers 55
    Vorgänge in einem Porus. — Bemerkungen über Druckhöhe und endosmotisches Aequivalent.
11. Abhängigkeit des osmotischen Wasserstromes von Membranbeschaffenheit und Concentration der Lösung 59
    Einfluss der Thonmasse auf Permeabilität der Niederschlagsmembran. — Bedeutung der Membrandicke u. s. w. — Ist der Diffusionscoefficient unabhängig von der Concentration der Lösung? — Der osmotische Wasserstrom durch Lösungen verschiedener Concentration.
12. Osmotischer Wasserstrom durch Lösungsgemische 67
    Versuche mit Membranen aus Ferrocyankupfer und Pergamentpapier.
13. Filtration unter Druck 70
    Versuche mit Membranen aus Ferrocyankupfer.
14. Osmotische Druckhöhe 72
    Bedingung für maximale Druckhöhe in einer Membran. — Vergleich der Wirkung von Colloiden und Krystalloiden in Membranen aus Ferrocyankupfer, Pergamentpapier und Thierblase. — Beziehung zwischen Druckhöhe und osmotischem Wassereinstrom. — Beziehung der Druckhöhe zur Exosmose des wirkenden Körpers, zur Membrandicke u. s. w. — Druckhöhe in verschiedenen Zellen. — Druckhöhe und Concentration der wirkenden Lösung.

Digitized by Google

Seite

15. Schwankungen der Druckhöhe 83
Orientirung über die Frage. — Versuche in verschiedener Temperatur. — Allgemeine Ursachen veränderter osmotischer Wirkung.

16. Historischer Ueberblick 96

17. Experimentelle Belege 102

II. Physiologischer Theil.

18. Die Plasmamembran 121
Orientirung über die Plasmamembran und ihre Bedeutung in diosmotischer Hinsicht. — Historische Bemerkungen. — Entstehung und Verhalten der Plasmamembran. — Die Wachsthumsfähigkeit der Plasmamembran kann ohne Aenderung der diosmotischen Eigenschaften aufgehoben werden. — Ist die Plasmahaut eine resistente Membran? — Auflösung der Plasmamembran in dem Protoplasma. — Chemische Zusammensetzung. — Verschiedene Gebilde innerhalb der Zelle mit membranartiger Umkleidung. — Ist die Plasmamembran immer diosmotisch gleichwerthig?

19. Bemerkungen über Molecularstructur 149
Begriff der organisirten Substanz. — Plasmamembran. — Protoplasma.

20. Diosmose durch die Plasmamembran 154
Die Plasmamembran regulirt die diosmotische Aufnahme in Protoplasma und Zellsaft. — Einfluss von Membranbeschaffenheit auf Diosmose. — Aufnahme fester Stoffe. — Bemerkungen über Anhäufung von Stoffen und Stoffwanderung. — Zersetzungen unter Mithülfe der Diosmose. — Wirkung äusserer Einflüsse auf Dissociation.

21. Druckverhältnisse in der Zelle 168
Das osmotische System in der Zelle. — Auf anderem, als osmotischem Wege entwickelt der Protoplasmakörper nur geringe Druckkraft. — Bemerkungen über den Aggregatzustand des Protoplasmas. — Osmotische Bedeutung von Krystalloiden und Colloiden. — Die osmotische Druckhöhe in Zellen. — Volumschwankungen in Protoplasma, Zellsaft und anderen von Membran umkleideten Gebilden durch osmotische Wirkungen. — Allgemeines über Ursachen der osmotischen Druckschwankungen.

22. Zellmechanik von Bewegungsvorgängen 188
Mechanik der Reizbewegung. — Der Auslösungsvorgang und der osmotische Druck. — Verschiedene Reizbewegungen. — Zusammenballung im Zellsaft der Haare von Drosera. — Allgemeines über Auslösungsvorgänge. — Periodische Bewegungen.

23. Heliotropismus und Geotropismus 207
Heliotropismus der Zelle und der Gewebe. — Ursache des Zellheliotropismus ist in Zellhaut zu suchen. — Zusammenhang zwischen positivem und negativem Heliotropismus. — Ist Richtung oder Intensität eines Lichtstrahles maassgebend? — Geotropismus.

24. Einige Wachsthums- und Gestaltungsvorgänge 216
Die transversale Zusammenpressung der Zellhaut durch den Protoplasmakörper. — Bemerkungen über Entstehung und Wachsthum der Zellhaut. — Einige Ursachen für Gestaltungsvorgänge im Protoplasma.

25. Auftrieb von Wasser durch die Zelle 223
Ursache ist osmotische Wirkung in der Plasmamembran. — Wie ist einseitiger Wasserstrom möglich? — Einfluss von Zellhaut, Gewebespannung u. s. w. — Hofmeister's Apparat. — Ursachen des einseitigen Wasserstromes. — Die Wurzelkraft in der Pflanze. — Ist Wasserstrom durch Zellen von inducirten oder erblichen Eigenschaften abhängig?

26. Zusammenfassung einiger Resultate 234

Digitized by Google

I.

Physikalischer Theil.

Digitized by Google

Digitized by Google

A. Apparate und Methode.

1. Herstellung der Zellen.

Gewisse Niederschläge können in Form von Membranen erhalten werden, wenn sie an der Contactfläche zweier Lösungen oder einer Lösung und eines festen Körpers entstehen. Traube[1]) stellte bekanntlich zuerst solche Membranen dar und entwickelte zugleich die Bedingungen unter denen sie sich bilden können, Bedingungen, welche erst später kurz erläutert werden sollen. Der Autor dieser wichtigen Entdeckung prüfte aus verschiedenen Stoffen gewonnene Membranen auf ihre Durchlässigkeit für gelöste Körper, wobei sich zeigte, dass solche durchweg weniger leicht, als durch die bisher zu diosmotischen Untersuchungen angewandten Membranen passiren, ja manche Körper, welche durch diese leicht diosmiren, waren unfähig bestimmte Niederschlagsmembranen zu durchwandern.

Die diosmotischen Untersuchungen führte Traube meist mit Membranen aus, welche die eine Seite eines Glasröhrchens verschlossen, in welches der auf seine diosmotischen Eigenschaften zu prüfende Körper gebracht wurde. Die Herstellung eines solchen Apparates gelingt in den meisten Fällen leicht, indem von der einen, zur Erzeugung eines Niederschlags nöthigen Lösung eine kleine Menge in das Glasröhrchen gebracht und dieses dann in die andere Lösung getaucht wird. An der Contactstelle der Lösungen entsteht dann bei richtigem Verfahren aus

1) Experimente zur Theorie der Zellenbildung und Endosmose, Archiv f. Anatomie und Physiologie von du Bois-Reymond und Reichert 1867, p. 87 ff. Eine erste Mittheilung Traube's über diesen Gegenstand findet sich im Centralblatt f. medic. Wissenschaften 1865. — Eine Zusammenfassung früherer und einiger neuerer Versuche gibt derselbe Autor im Tageblatt der Breslauer Naturforscherversammlung 1874. Ein Abdruck dieser Mittheilung in Botan. Zeitung 1875, p. 56 ff.

Digitized by Google

den beiden Membranogenen der Niederschlag in Form einer das Röhrchen verschliessenden Membran.

In allen Fällen operirte Traube mit frei in die Flüssigkeit hineinragenden Zellen. Diese sind nun einmal nicht sehr widerstandsfähig und weiter werden sie in allen Fällen dauernd an Grösse zunehmen, so lange ein osmotischer Wassereinstrom einen Druck im Innern hervorbringt, der dehnend auf die Haut wirkt. Hierdurch wird dann die Einschiebung neuer Hautpartikel hervorgerufen, sobald den beiden Membranogenen eine Begegnung in den erweiterten Zwischenräumen ermöglicht ist; ein Flächenwachsthum durch Intussusception, das diese Membranen in schönster Weise demonstriren. Würden nun auch diese und andere Schwierigkeiten wohl zu überwinden [redacted], wenn es sich nur um Studien über diosmotischen Austausch handelt, so ist es doch unmöglich in freischwebenden Zellen den durch osmotische Wirkung zu Stande kommenden Druck zu messen. Um dieses zu ermöglichen, mussten die Membranen gegen eine widerstandsfähige, aber für Wasser und Salze verhältnissmässig leicht permeable Widerlage gelegt werden. Das zur Nachahmung auffordernde Modell boten die Pflanzenzellen dar, in welchen die in ihren diosmotischen Eigenschaften den künstlichen Niederschlagsmembranen ähnelnde Plasmamembran [1]) der Zellhaut angepresst ist.

Meine ersten Versuche gingen darauf hinaus, freischwebende Membranen durch osmotische Druckkraft so wachsen zu lassen, dass sie sich endlich einer Widerlage auflegten, welche das eine Ende eines Glasrohres verschloss. Gelang dieses nun auch mit einiger Mühe, so stellten sich doch bezüglich der Druckmessung Schwierigkeiten heraus, welche mich veranlassten, einen anderen Weg zu betreten. Es wurde nämlich durch die Poren, selbst der dichtesten Leinwand- und Seidengewebe, die Niederschlagsmembran schon bei geringem Drucke durchgepresst, d. h. es erschien die fortwährend wachsende Haut auf der anderen Seite des Gewebes an verschiedenen Stellen in Form kleiner Säckchen, welche sich weiter vergrösserten und eventuell endlich zerplatzten. Versuche dichtere Stoffe, wie Pergamentpapier oder Thonzellen, als Widerlage zu benutzen, gaben aus Gründen, welche ich hier unerörtert lassen will, auch kein günstiges Resultat.

Zu einem günstigen Resultat gelangte ich zuerst, indem ich Thonzellen, wie sie zu elektrischen Batterien benutzt werden, nach Anbring-

1) Was unter Plasmamembran zu verstehen ist, wird im physiologischen Theile dieser Abhandlung gezeigt werden.

Digitized by Google

ung geeigneter Verschlüsse, zunächst sorgfältig mit Wasser injicirte und dann die Zelle in eine Lösung von Kupfersulfat stellte, während ich in das Innere sogleich oder nach einiger Zeit Ferrocyankaliumlösung brachte. Die beiden Membranogene dringen jetzt diosmotisch in die sie trennende Thonscheidewand ein und bilden da, wo sie sich begegnen, eine Niederschlagsmembran aus Ferrocyankupfer. Diese erscheint vermöge ihrer rothbraunen Farbe als eine ganz feine Linie in der weissen Thonmasse, welche ausserdem farblos bleibt, weil die entstandene Haut ihre Membranogene nicht passiren lässt.

Diese »eingelagerten« Membranen habe ich übrigens fast nur zu Vorversuchen benutzt, während ich die eigentliche Untersuchung mit Membranen durchführte, welche der Innenfläche von Thonzellen aufgelagert waren. Alle mitzutheilenden Versuche sind, sofern nichts besonderes bemerkt ist, sämmtlich mit solchen »aufgelagerten Membranen« ausgeführt. Um diese darzustellen wurden die Thonzellen vollständig, z. B. mit Kupfervitriollösung injicirt, dann wurde schnell mit Wasser ausgespült und darauf eine . Ferrocyankaliumlösung eingegossen. Näheres über die Herstellung der Apparate wird, nach dieser Orientirung, in Folgendem mitgetheilt werden.

In Fig. 1 ist der fertige Apparat mit dem zum Druckmessen bestimmten Manometer (*m*) ungefähr in halber natürlicher Grösse abgebildet; die Thonzelle (*z*) und die ineinandergesetzten Glasstücke v und t sind im medianen Längsschnitt dargestellt. Die von mir benutzten Thonzellen waren im Mittel ungefähr 46 Millim. hoch, maassen etwa 16 Millim. im Lichten und hatten eine Wandstärke von $1^1/_4$ bis 2 Millimeter. In die

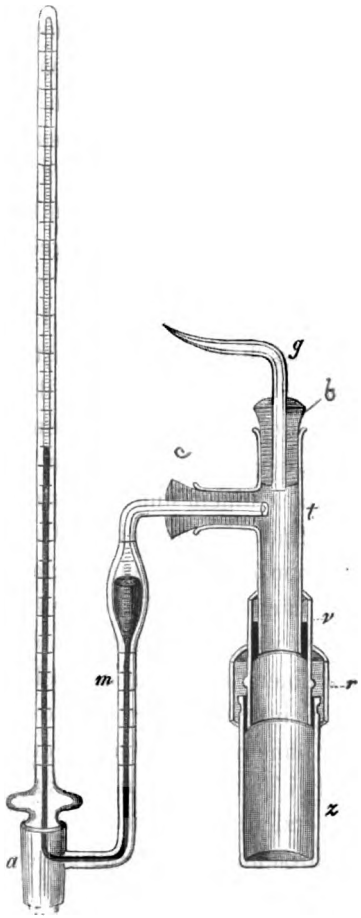


Fig. 1.

Digitized by Google

Thonzelle wurde das engere Glasrohr *v* — es heisse Verbindungsstück — mit Siegellack eingeschmolzen und in das andere Ende dieses Rohres das Verschlussstück *t* in derselben Weise eingelassen, dessen Form und Bedeutung die Figur zeigt. Der mit *r* bezeichnete Glasring war nur bei Versuchen in höherer Temperatur nothwendig, in welchen der Siegellack erweichte. Der Ring wurde nämlich mit einer Kittmasse ausgefüllt, welche auch dann noch die ineinandergesetzten Stücke fest zusammenhielt.

Bei einiger Umsicht ist es nicht schwer die Lackschlüsse auch für höhere Druckkräfte ausreichend herzustellen; die grösste Sorgfalt ist auf Vereinigung von Thonzelle und Verbindungsstück zu verwenden. Für alle Versuche in niederer und mittlerer Temperatur wurde der enge Cylindermantel zwischen Thonzelle und Verbindungsstück mit zwei verschiedenen Lacksorten ausgefüllt, der grössere Theil des Mantels mit einem schwerer schmelzbaren gutem Packsiegellack, dem sich nach dem Innern der Zelle zu ein niederer Ring von weicherem Siegellack anschloss, welches durch Zusatz von Terpentin oder flüssigem Pech gewonnen war. Ausschliesslich dieser innere Ring, welcher vermöge seiner Beschaffenheit das Auftreten von kleinen Rissen nicht zuliess, kam in Contact mit der aufgelagerten oder auch eingelagerten Niederschlagsmembran, der festere Siegellack aber hatte das Herausschieben des Verschlussstückes durch Druck zu verhindern. Um diesen Doppelverschluss herzustellen, setzt man zunächst die Glasröhre mit dem schwerer schmelzbaren Siegellack in die Thonzelle ein, nimmt den hierbei vor der hineingeschobenen Glasröhre aufgewulsteten Lackring mit einem geeigneten Instrument hinweg, bringt den leicht schmelzbaren Siegellack hinein und drückt nun, nachdem dieser geschmolzen ist, den Glascylinder weiter ein. Auf sehr gute Vereinigung zwischen Lack und Thonzelle und einen glatten Abschluss des weichen Siegellackringes nach dem Zellinnern zu ist sorgfältigst zu achten, wenn nicht der Versuch wegen Undichten misslingen soll. Weil das kurze Zwischenstück einen Einblick in das Zellinnere gestattet[1]), habe ich es vorgezogen dieses einzuschalten. Das dichte Einschmelzen des Verschlussstückes (t) ist ohnehin immer sicher und leicht zu erreichen.

Bei Temperaturen bis zu 25 Grad gewährten die Verschlüsse bei allen erzielten Druckkräften vollkommene Sicherheit, bei höheren Temperaturen aber würde der erweichte Siegellack das Auseinanderschieben

1) Am besten übersieht man den inneren Abschluss des Lackringes mit Hülfe kleiner Spiegel, wie sie in der ärztlichen Praxis Verwendung finden, um z. B. im Kehlkopf zu beobachten.

Digitized by Google

der zusammengekitteten Stücke ermöglichen. Der Zusammenhalt wurde in diesen Fällen durch einen nicht erweichenden Kitt gesichert, die Dichte der Verschlüsse aber wie sonst durch Siegellack erzielt. Der von mir angewandte, von Hirzel[1]) empfohlene Kitt ist überhaupt seiner einfachen Darstellung und vielfachen Verwendbarkeit halber sehr zu empfehlen. Es wird einfach durch Zusammenreiben von Bleiglätte und Glycerin ein je nach Bedürfniss schwerer oder leichter flüssiger Teig hergestellt, welcher im Verlauf von 24 Stunden in eine steinharte Masse verwandelt ist. Des schnelleren Erhärtens halber empfiehlt es sich übrigens dem concentrirten käuflichen Glycerin etwas Wasser zuzusetzen.

In welcher Weise der Kitt angebracht wurde, ist aus Figur 1 zu ersehen. Der Glasring (*r*) wurde auf eine über die Thonzelle geschobene Papierscheibe aufgestellt und dann der Kitt einfach in den Ring eingegossen. Um sicher alles Gleiten zu vermeiden, habe ich stets in die Thonzelle eine Rille eingeschnitten, an das Verbindungsstück aber Protuberanzen angeblasen, wie solches auch in der Figur angedeutet ist. Da die poröse Thonzelle der Kittmasse das Glycerin entziehen würde, muss die Zelle zuvor mit Glycerin getränkt werden.

Um die Verbindung zwischen den beiden Glasröhren *t* und *v* bei höherer Temperatur zu sichern, wurde, wie es auch in der Figur durch ungleiche Schattirung angedeutet ist, der Cylindermantel zwischen jenen in der unteren Hälfte mit Siegellack in der oberen Hälfte mit Bleiglättekitt ausgefüllt. Soll dieser haften und seinen Zweck erfüllen, so muss er selbstverständlich mit der reinen Glasfläche in Contact kommen. Es ist dieser Bedingung so leicht Genüge zu leisten, dass ich die Angabe meines Verfahrens nicht für nöthig halte.

Der Bleiglättekitt würde freilich Säuren und Alkalien nicht Widerstand leisten, und müsste, wollte man mit solchen Körpern operiren, durch einen andern Kitt ersetzt werden. Eine geringe oberflächliche Umsetzung, wie sie durch Kupfersalze herbeigeführt wird, hat keine praktische Bedeutung.

Alle Thonzellen waren, ehe die vorerwähnten Verschlüsse angebracht wurden, zuerst mit verdünntem Kali, dann mit verdünnter Salzsäure (etwa 3procentiger) behandelt und nach gutem Auswaschen wieder vollkommen getrocknet worden. Es wurden so die in den genannten Medien löslichen Stoffe, namentlich auch Erden und Eisen entfernt, welche unter Umständen nachtheilig werden können.

1) Dingler's Polytechnisches Journal 1868, Bd. 141, p. 58.

Digitized by Google

Nach Fertigstellung der Verschlüsse wurde dann die Niederschlagsmembran nach dem schon angedeuteten Princip eingelagert, resp. aufgelagert. Zum Gelingen dieser Operation bedarf es aber durchaus einer Reihe von Vorsichtsmassregeln, welche nun in Folgendem erörtert werden sollen. Da ich hauptsächlich mit Ferrocyankupfermembranen experimentirte, welche der Innenfläche der Thonzelle aufgelagert waren, so will ich auch diesen Fall speciell ins Auge fassen.

Die Thonzellen wurden zuerst unter der Luftpumpe durch wiederholtes Evacuiren vollkommen mit Wasser injicirt, und dann mindestens einige Stunden in eine 3 Procent Kupfervitriol enthaltende Lösung gestellt und auch im Innern mit dieser Lösung gefüllt. Dann wurde die Thonzelle nur im Innern einigemal schnell mit Wasser ausgespült, durch eingeführte Streifen aus Filtrirpapier möglichst schnell gut abgetrocknet und, nachdem sie auch äusserlich etwas abgetrocknet war, einige Zeit an der Luft stehen gelassen bis sie sich eben noch feucht anfühlte. Dann wurde eine 3procentige Lösung von Ferrocyankalium in das Innere eingefüllt und die Zelle unmittelbar darauf wieder in Kupfervitriollösung eingestellt.

Hatte dann die Zelle 24 bis 48 Stunden ruhig gestanden, so wurde sie ganz mit der Ferrocyankaliumlösung gefüllt und in der Weise, wie es Fig. 1 zeigt, geschlossen. Es entwickelt sich nun allmälig ein gewisser Ueberdruck des Inhaltes, weil die Ferrocyankaliumlösung die Kupfervitriollösung an osmotischer Wirkung übertrifft. Nach weiteren 24 bis 48 Stunden wurde dann der Apparat wieder geöffnet und gewöhnlich eine Lösung eingefüllt, welche 3 Procent Ferrocyankalium und $1^1/_2$ Procent Salpeter (dem Gewichte nach) enthielt und die einen osmotischen Ueberdruck von etwas mehr als 3 Atmosphären entwickelt. Sollte übrigens die Zelle zu Versuchen dienen, bei welchen eine höhere Druckkraft entstand, so wurde sie auch, indem eine mehr Salpeter enthaltende Lösung verwandt wurde, auf höheren Druck geprüft. Natürlich kann man bei diesen Probeversuchen beliebige selbstgefertigte Manometer verwenden.

Die zuerst langsame Drucksteigerung und eine gewisse Zeitdauer dieses geringeren Druckes sind erfahrungsgemäss für die Herstellung brauchbarer Apparate sehr wesentlich. Es ist ja auch einleuchtend, dass die ohne einseitigen Druck gebildete Membran über kleine Vertiefungen der Innenfläche der Thonzellen ausgespannt sein kann, denen sie sich in Folge der Druckentwickelung anschmiegen muss. Dieses mag dann mit Sicherheit vor sich gehen, wenn es ganz allmälig ausgeführt wird, während eine schnellere Drucksteigerung ein Zerreissen der

Digitized by Google

Haut herbeiführen dürfte. Wenigstens spricht für diese Auffassung, dass bei schnellerer Druckentwicklung das Quecksilber im Manometer zuerst bis zu einem gewissen Grade steigt, um sich dann wieder schneller oder langsamer zu senken. Bald nach dieser Wendung treten dann oft auf der Aussenfläche der Thonzelle kleinere oder grössere rothbraune Flecken von Ferrocyankupfer aus, ein Beweis, dass die aufgelagerte Membran ihre einstige Continuität verloren hatte.

Auch die Zeitdauer ist bei Herstellung unserer Zellen nicht ganz gleichgültig, wohl deshalb, weil die Membran sich allmälig etwas verdickt und widerstandsfähiger wird. Dieses kann z. B. da von Belang sein, wo die Membran einen die ganze Thonzelle durchsetzenden Porus verschliesst und durch eigene Widerstandsfähigkeit dem auf ihr lastenden Druck in solcher Weise entgegenwirken muss, dass weder Zerreissung, noch Wachsthum durch Intussusception zu Stande kommt, welches letztere ja ein Hervortreten der Membran auf der Aussenseite der Thonzelle zur Folge haben würde. Diese und ähnliche Erwägungen lassen es auch begreiflich erscheinen, warum die Verdrängung der Luft in der Thonzelle von Bedeutung ist, denn, wenn die noch wachsende Membran auf eine Luftblase trifft, fehlt auf der Contactfläche mit dieser der eine, zu weiterem Wachsthum nothwendige Membranbildner.

Die Herstellung brauchbarer Zellen gelingt, wenn die angeführten Vorsichtsmassregeln durch Uebung unterstützt werden, mit grosser Sicherheit. Mir ist schliesslich von 20 Zellen kaum eine verunglückt, während ich anfangs mit grossen Schwierigkeiten zu kämpfen hatte, und, ehe ich zu partieller Abtrocknung meine Zuflucht nahm, überhaupt keine aufgelagerte Membran zu Stande brachte. Zuvor hatte ich mit eingelagerten Membranen operirt, bei deren Darstellung die gleichen Vorsichtsmassregeln zu beachten sind. Gewöhnlich tauchte ich die vollkommen mit Wasser injicirten Zellen zunächst in eine 3procentige Kupfervitriollösung und füllte erst nach 15 bis 20 Minuten die gleich concentrirte Lösung von Ferrocyankalium in das Innere ein. Die Membran entsteht so nicht in der Mitte, sondern ziemlich nahe an der Innenfläche der Thonzelle. Abgesehen davon, dass die aufgelagerte Membran Vortheile bietet, weil sie unmittelbar in Contact mit der eingefüllten Flüssigkeit kommt, während bei der eingelagerten Membran die Diffusionsvorgänge in der Thonmasse eine Rolle mitspielen, ist auch die Darstellung jener durchweg sicherer. Ich habe sogar einige Sendungen Thonzellen in Händen gehabt, in denen eine aufgelagerte Membran leicht hergestellt werden konnte, während ich brauchbare eingelagerte Membranen nur sehr schwierig oder wohl auch gar nicht zu

Digitized by Google

erzielen vermochte, ja von 10 Sendungen Thonzellen, welche zum guten Theil aus verschiedenen Fabriken stammten, erwiess sich das Material nur zweier Fabrikate für Darstellung eingelagerter Membranen geeignet.

Die Beschaffenheit des Materials ist in jedem Falle nicht gleichgültig, selbst dann, wenn auch die Herstellung der Zelle thatsächlich gelingt. Es ist einleuchtend, dass die günstigsten Verhältnisse möglichst poröse Thonzellen gewähren, welche den osmotischen Austausch durch die Niederschlagsmembran so wenig als möglich beeinflussen. Am besten entsprechen diesen Anforderungen die schon erwähnten Thonzellen, welche ich zu meinen Versuchen verwandte; ich bezog diese von E. Leybold's Nachfolger in Cöln, dessen ganzer Lagervorrath in meine Hände überging. Die von dieser Firma aus derselben Fabrik weiterhin besorgten Thonzellen erwiesen sich zwar für Herstellung aufgelagerter Membranen vollkommen brauchbar, gestatteten jedoch die Darstellung eingelagerter Membranen kaum oder gar nicht und standen überhaupt in ihren Eigenschaften den zuerst erhaltenen Zellen nach. Von gleicher Güte wie diese letzteren habe ich auch aus neun anderen Fabriken bezogenes Material nicht gefunden und so bin ich nicht in der Lage, eine Bezugsquelle für Thonzellen geeignetster Qualität anzugeben[1]). Für aufgelagerte Membranen immerhin vollkommen brauchbare Zellen von ungefähr gleichen Dimensionen, wie die von mir benutzten, wird übrigens E. Leybold's Nachfolger in Cöln liefern können.

Einige Vortheile würden eiförmige, in einen cylindrischen Hals auslaufende Zellen gewähren, doch da die in dieser Form für mich angefertigten Thonzellen dem Materiale nach gegen die schon erwähnten brauchbarsten Zellen zurückstanden, so benutzte ich begreiflicherweise diese letzteren bei meinen Versuchen. Ich bemerke noch ausdrücklich, dass einige Fabrikate auch für Auflagerung von Niederschlagsmembranen sich als absolut unbrauchbar erwiesen und auch nach Behandlung mit Säuren und Alkalien blieben, obgleich das Aussehen dieser Zellen keinen Grund für dieses negative Verhalten erkennen liess. Doch muss hierfür die physikalische, nicht die chemische

1) Die zuerst von mir benutzten, aus dem Utensilienlager von E. Marquardt's Nachfolger in Bonn bezogenen Zellen liessen auch hinsichtlich der eingelagerten Membranen nichts zu wünschen übrig. Da nur wenige dieser Zellen vorräthig, die aus derselben Fabrik weiterhin erhaltenen aber thatsächlich unbrauchbar waren, da ferner die Herstellung aufgelagerter Membranen anfangs nicht gelingen wollte, so kostete es begreiflicherweise erhebliche Mühe und Zeit, ehe die technischen Schwierigkeiten überwunden waren.

Digitized by Google

Beschaffenheit massgebend gewesen sein, da wieder Zellen aus chemisch differentem Materiale die Herstellung geeigneter Niederschlagsmembranen gestatteten.

In allen Fällen ist die Entstehung einer hohen osmotischen Druckkraft durch eine verdünnte Lösung schon an sich ein sicheres Criterium für die gelungene Bildung der Niederschlagsmembran. Wenn Schäden in dieser von Anfang an bestanden oder nachträglich auftraten, erreichte dieser Druck immer nur geringe Höhe, resp. ging auf ein geringeres Maass zurück. Thatsächlich reichte dieser Prüfstein in der Praxis aus, denn in allen diesen Fällen lieferten Versuche mit verschiedenen Zellen übereinstimmende Resultate bezüglich der zu Stande kommenden Druckhöhen und ebenso zeigten sich solche Membranen dann immer impermeabel für solche Körper, welche dieselbe fehlerlose Niederschlagsmembran diosmotisch nicht zu durchwandern vermögen.

Ebenso leicht wie aus Ferrocyankupfer konnte ich bei analogem Verfahren Membranen aus Berlinerblau und Calciumphosphat der Thonzelle auflagern. Zur Darstellung der Berlinerblaumembran wurde die Zelle zunächst mit Eisenchlorid ($1^1/_2$procentiger Lösung) durchtränkt und weiterhin 3procentige Ferrocyankaliumlösung in das Innere gegeben. Für Calciumphosphatmembranen wurde 3procentige Chlorcalciumlösung und mit etwas Natriumbicarbonat versetzte 6 Procent Dinatriumphosphat ($PO^4\ Na^2\ H + 12\ H_2O$) enthaltende Lösung verwandt. Die Membran aus Calciumphosphat und ebenso aus anderen geeigneten Stoffen, wie z. B. aus Eisenoxydhydrat und Eisenphosphat, gestattet das Operiren mit alkalischen Flüssigkeiten, durch welche Ferrocyankupfer und Berlinerblau zersetzt werden. Freilich müsste bei einigermassen alkalischen Lösungen der Lackschluss durch einen anderen Verschluss ersetzt werden.

Es ist wohl vorauszusehen, dass alle aus gelösten Krystalloiden entstehenden Membranen auch auf Thonzellen aufgelagert werden können. Auch möchte ich glauben, dass die Herstellung solcher Membranen mit colloidalen Membranogenen gelingen dürfte, wenn auch einige Versuche, Membranen aus gerbsaurem Leim in Thonzellen aufzulagern, fehlschlugen. Diesem negativen Resultate ist aber durchaus keine Bedeutung beizumessen, da modificirte Methoden, die zu verfolgen ich keine Veranlassung hatte, sehr wohl zu einem Resultate führen könnten. Auch dürfte es wohl gelingen, aufgelagerte Membranen mit anderen unlöslichen Stoffen zu infiltriren, wodurch, wie Traube[1]) zeigte, die

1) Archiv für Anat. u. Physiologie l. c. p. 141.

Digitized by Google

diosmotischen Eigenschaften der Niederschlagsmembranen wesentlich modificirt werden können.

Es lässt sich natürlich dieselbe Thonzelle immer wieder für neuen Gebrauch herrichten, sofern die Niederschlagsmembran zu entfernen ist. Ich habe es zweckmässig gefunden zunächst, nach möglichster mechanischer Entfernung des Siegellackes, die letzten Spuren dieses durch Extraction mit Alkohol wegzunehmen. Zur Beseitigung des Ferrocyankupfers wurden darauf die Zellen etwa 24 Stunden mit verdünnter Kalilauge, der, um das Kupferoxyd zu lösen, etwas weinsaures Natronkali zugesetzt war, digerirt, endlich nach dem Auswaschen noch mit verdünnter Salzsäure behandelt. Es bedarf kaum der Erwähnung, dass die Berlinerblaumembran gleichfalls durch aufeinanderfolgende Behandlung mit Kali und Säure, die Calciumphosphatmembran unmittelbar mit Säure entfernt werden kann. War um die Zelle Bleiglättekitt gelegt, so lässt sich dieser natürlich mechanisch wegnehmen, um aber alles Blei sicher zu entfernen, empfiehlt es sich weiterhin aus naheliegenden Gründen nicht Schwefelsäure oder Salzsäure, sondern Salpetersäure anzuwenden. Um bei Anwendung von Bleiglättekitt Verbindungsstück (v) und Verschlussstück (t) auseinanderzunehmen, ist es nachgerade am einfachsten das werthlose Verbindungsstück mit Sprengkohle zu zersprengen.

Ausser porösem Thone dürfte wohl noch manches andere Material zur Einlagerung oder Auflagerung von Niederschlagsmembranen brauchbar sein, doch habe ich in dieser Hinsicht nur Thierblase und Pergamentpapier und zwar mit Erfolg geprüft. Mit Pergamentpapier erhielt ich stets mit grösster Leichtigkeit eine Scheidewand, welche ihrem osmotischen Verhalten nach mit einer auf Thonmasse gelagerten Ferrocyankupfermembran übereinstimmte, wenn ich einen mit diesem Papier auf einer Seite verschlossenen Glascylinder nach zuvoriger Injection des Pergamentpapiers mit Wasser, in Kupfervitriollösung tauchte und gleich darauf Ferrocyankaliumlösung in das Innere gab [1]). Vollkommen

1) Solche Membranen sind zufällig auch von Kürschner (Wagner's Handwörterbuch der Physiologie Bd. I, 1842, p. 57) erhalten worden. Dieser trennte, in der Absicht den Durchgang einer Flüssigkeit durch eine sichtbare Reaction zu controliren, Lösungen von Blutlaugensalz und Kupfervitriol durch thierische Blase. Da Kürschner in keiner Weise die Bedeutung des in der Membran entstehenden Niederschlags erkannte, so ist auch dem erwähnten Versuche durchaus kein Gewicht beizulegen. — Die Infiltration von Scheidewänden mit chromsaurem Blei, resp. Bariumsulfat, welche Brücke (Poggdf. Annal. 1843, Bd. 58, p. 89), resp. Ludwig (Zeitschr. für rationelle Medicin von Henle u. Pfeufer 1849, Bd. VIII, p. 25) ausführten, ist freilich als ein von einem bestimmten Gedanken geleitetes Experiment zu schätzen, das indess weder auf Bildung einer Niederschlagsmem-

Digitized by Google

dichte Verbindung zwischen Glas und Pergamentpapier gelingt leicht, wenn man zwischen beiden, vor dem Aufbinden mit Fäden, einen leicht trocknenden Spirituslack anbringt.

Für exacte Messungen sind die auf Thonzellen aufgelagerten Membranen entschieden vorzuziehen. Denn einmal wird das Pergamentpapier durch Druck gedehnt und der hieraus entspringende Fehler würde auch durch untergelegte Metallsiebe nicht ganz beseitigt, weiter wird die Niederschlagsmembran durch die Dehnung leicht beschädigt und auf ihre Continuität ist nur bei reichlicher Gegenwart der Membranogene zu rechnen. Endlich wurde bei allen Versuchen, nachdem der Ueberdruck 1 bis 2 Atmosphären erreicht hatte, Ferrocyankupfer durchgepresst, offenbar in analoger Weise, wie Niederschlagsmembranen durch dichte Leinwand gedrückt werden. Immerhin eignen sich die in Pergamentpapier eingelagerten Membranen zu manchen osmotischen Versuchen und namentlich auch zur Demonstration osmotischer Druckkraft. Indem man ein genügend weites Glasrohr an einem Ende in einen Hals auszieht und in diesem ein zum Einsetzen offener Manometer geeignetes Verschlussstück (t in Fig. 1) anbringt, hat man einen Apparat, der allen Anforderungen entspricht. Bei einer Röhrenweite von 20 bis 25 Millimeter hält gutes Pergamentpapier einen Ueberdruck von $^3/_4$ bis 1 Atmosphäre sicher aus.

Die auf Thonzellen aufgelagerten Niederschlagsmembranen bilden auf der Thonmasse eine dünne Schicht, welche, wenn sie aus gefärbten Körpern, wie aus Berlinerblau oder Ferrocyankupfer besteht, gut zu übersehen ist. Zerschlagene Zellen zeigen, wie diese Niederschlagsmembran sich den Unebenheiten der Thonmasse eng anschmiegt und dem entsprechend selbst uneben ist. Für die Versuche selbst hat dieses zwar keine Bedeutung, würde aber dann schwer ins Gewicht fallen, wenn es sich um Messung der Membrandicke handelte, ja würde eine solche, die sonst auf optischem Wege sehr genau auszuführen wäre, unmöglich machen.

Mit den in Thonzellen aufgelagerten Niederschlagsmembranen hatte ich namentlich den numerischen Werth dreier Grössen unter

---

bran ausging, noch auch eine solche bei Anwendung der genannten Membranogene gegeben haben würde. — Uebrigens sind aus Niederschlagsmembranen manche der sog. metallischen Bäume gebildet, welche schon bei den Alchymisten eine Rolle spielten. Der Eisenbaum Glauber's ist ein aus Eisensalz und Wasserglas dargestelltes Eisensilicat. (Vgl. Kopp, Geschichte d. Chemie 1847, IV, p. 149.)

Digitized by Google

variablen Verhältnissen zu bestimmen. Nämlich: 1) die Bewegung von Wasser in eine Zelle, welche ein osmotisch wirkender Stoff bewirkt; 2) die Filtration, d. h. den Wasserausstrom unter bekanntem Druck; 3) die Druckhöhe, welche als Gleichgewichtszustand von 1 und 2 durch einen osmotisch wirkenden Stoff in einer geschlossenen Zelle zu Stande kommt. — Das Verhältniss der sich austauschenden Mengen von Wasser und Salz, das sog. endosmotische Aequivalent, für solche Körper zu bestimmen, welche durch die Niederschlagsmembran diosmiren, lag nicht in dem Plane dieser Arbeit.

Gleich hier sei bemerkt, dass ich unter »Osmose« oder »Diosmose« den Durchgang eines Körpers durch eine beliebige Scheidewand verstehe. Die osmotische Bewegung eines Körpers in das Innere einer Zelle werde ich wohl gelegentlich auch »Endosmose« nennen, also mit diesem Worte nur eine bestimmte Richtung des osmotischen Stromes bezeichnen. Der unter Nr. 3 erwähnte Gleichgewichtszustand zwischen Endosmose und Filtration soll als osmotische Druckkraft oder als Druckhöhe bezeichnet werden.

Bei allen Operationen ist es freilich möglich, die Niederschlagsmembranen ohne Gegenwart der Membranogene zu verwenden, doch kann immerhin leicht ein kleiner Riss auftreten, welcher grosse Fehler herbeizuführen im Stande ist. Ich habe deshalb, wo nicht besondere Gründe zu anderem Handeln vorlagen, vor allem bei Prüfung der Druckhöhe, der Innen- und Aussenflüssigkeit je einen der Membranbildner in solcher Menge zugesetzt, dass die osmotische Gegenwirkung beider sich gerade aufhob. Es konnte dieses, ohne einen erheblichen Fehler in den Versuchen herbeizuführen, um so eher geschehen, als erfahrungsgemäss schon sehr verdünnte Lösungen der Membranogene (0,1 Procent und weniger enthaltende) ausreichen, um entstandene Risse in der Membran zu repariren. Wir werden auf diesen Punkt nochmals zu sprechen kommen.

2. Messung des osmotischen Wasserstroms.

Zur quantitativen Bestimmung der endosmotischen Wasserbewegung diente die in Fig. 2 abgebildete Zusammenstellung. Es wurde das Steigen der Flüssigkeitssäule in einem calibrirten Rohre (*s*) beobachtet, welches mittelst Kautschuk in die Endöffnung des Verschlussstückes (vergl. Fig. 1) eingesetzt war. Die ganze Zelle wurde in Was-

Digitized by Google

ser[1]) eingetaucht, dessen Temperatur in zwei verschiedenen Höhen durch genaue Thermometer bestimmt wurde.

Die verhältnissmässig geringe endosmotische Volumzunahme und die Nothwendigkeit die Zeitdauer eines Versuches möglichst abzukürzen, forderten die Wahl eines engen Messrohres. Das von mir angewandte Rohr hatte einen Durchmesser von 1,4090 Millim. und war auf einer Strecke von 20 Centimeter in Millimeter getheilt. Eine genaue Calibrirung ergab für diese getheilte Strecke einen gleichmässigen Durchmesser, so dass überall die Erhebung der Flüssigkeit um 1 Millim., eine Volumzunahme von 1,559 Cubicmillim. anzeigt.

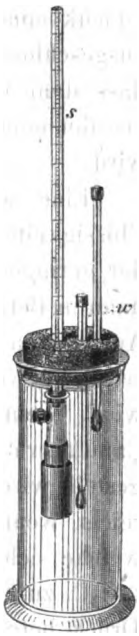


Fig. 2.

Einstellung der Flüssigkeitssäule im Messrohr und Zusammensetzung des Apparates bedürfen keiner besonderen Erläuterung: beiläufig sei nur erwähnt, dass das Austrocknen des nicht von Flüssigkeit eingenommenen Theiles des Messrohres mittelst eines Fadens geboten ist.

Bei dem verhältnissmässig grossen Rauminhalt der Zelle von mindestens 15 Cub.-Cent. macht sich eine Temperaturschwankung von 1°C. im Messrohre durch eine Aenderung des Flüssigkeitsniveau von durchschnittlich etwa 2 Millim. bemerklich und bedarf es deshalb einer genauen Controle der Temperatur. Es wurde diese an den beiden, mit ihren Kugeln neben dem unteren und oberen Ende der Zelle befindlichen Thermometern bis auf $^1/_{20}$°C. abgelesen; die Thermometer selbst waren in $^1/_{10}$° getheilt und mit einem Geissler'schen Normalthermometer genau verglichen. Während eines Versuches wurde mit seltener Ausnahme dafür Sorge getragen, dass die Temperatur der Flüssigkeit höchstens um $^1/_5$°C. oscillirte, schon einige Zeit vor einer Ablesung wurde aber jedesmal die Ausgangstemperatur bis auf $^1/_{20}$°C. genau wieder hergestellt. Da dieses verhältnissmässig leicht durch Berührung des Glascylinders mit der Hand, oder mit einem kalten Körper zu erreichen ist, so zog ich diesen Weg einer Reduction auf gleiche Temperatur vor, welche eine jedesmalige Bestimmung des Ausdehnungswerthes gefordert hätte.

Die Niveauänderung der Flüssigkeitssäule im Messrohr wurde durch Ablesung mit Cathetometer bis auf 0,1 Millim. genau bestimmt,

---

1) Ich werde kurz von Wasser als Aussenflüssigkeit sprechen, wenn diese auch eine diluirte Lösung des Membranbildners ist.

Digitized by Google

so dass der hieraus und aus Temperaturdifferenzen entspringende Fehler höchstens einer Höhenänderung von 0,3 Millim. im Messrohr gleichkommen kann. Directe Versuche, in denen osmotische Wirkung ausgeschlossen war, haben mir ausserdem die Gewissheit gegeben, dass dann dieser Fehler durch die schon erwähnten und noch zu erwähnenden Fehlerquellen zusammengenommen nicht überschritten wird.

Eine weitere Fehlerquelle, durch den Niveauunterschied der Flüssigkeiten innerhalb und ausserhalb der Zellen bedingt, kommt bei der geringen Bedeutung dieser kleinen Druckkraft für Filtration nur dann in Betracht, wenn die endosmotische Wirkung eine schwache ist. Auch dann ist dieser Fehler auf ein verschwindendes Maass beschränkt, wenn die Druckdifferenz selbst ein Minimum ist, was erreicht wird, wenn das Flüssigkeitsniveau im Messrohr entsprechend der Capillarerhebung höher, als die Aussenflüssigkeit im Glascylinder eingestellt wird. Nahezu ist dieses auch für verdünnte Salzlösungen erreicht, wenn die Capillarerhebung des Wassers zu Grunde gelegt wird, welche sich in unserem Messrohre für Temperaturen zwischen 8 und 20° C. zu 21 bis 21,5 Millim. berechnet[1]). Der Filtration bewirkende Druck beträgt dann bei geringer Volumenänderung im Verlaufe des Versuches höchstens einige Millimeter.

Durch Verrücken der Verschlüsse kommt, wenn der Apparat vor Erschütterungen bewahrt wird, kein messbarer Fehler zu Stande, ebenso nicht durch Wasserverdampfung in dem engen Messrohr. Wesentlich aber ist, dass sich die Permeabilität der Membran mit der Zeit vermindert; durch Verdickung und Verstopfung wenn die Membranogene zugegen sind, durch Verstopfung allein wenn diese fehlen. Auch in diesem letzteren Falle ist eine solche Aenderung nicht ganz zu umgehen, jedoch bei Verwendung recht klarer Lösungen auf ein geringes Maass zu reduciren. Die Grösse dieses Fehlers ist in fast allen meinen Versuchen zu beurtheilen, indem eine Versuchsreihe gewöhnlich mit demselben Versuche abschliesst, mit welchem sie begonnen hatte.

Bei der Unbekanntschaft mit der Membrandicke und der Unmöglichkeit den Einfluss dieser und anderer Factoren zu bestimmen, konnte die endosmotische Wirkung unter verschiedenen Bedingungen immer nur mit derselben Zelle vergleichend untersucht werden. Hierbei zeigte es sich beim Wechsel verschiedener Lösungen als ausreichend, wenn die Zelle mit aufgelagerter Membran einigemal mit der neu einzufüllen-

---

1) Vergl. Buff, Physikalische Mechanik 1874, 2. Theil, p. 199.

Digitized by Google

den Flüssigkeit ausgespült wurde. Auch ergab sich, dass der Gleichgewichtszustand immer schon nach 10 Minuten hergestellt war, wie Ablesung in aufeinanderfolgenden Intervallen zeigte, ein Verfahren, das übrigens in allen Versuchen der Controle halber angewandt wurde.

Die Volumvergrösserung der in der Zelle befindlichen Lösung war in allen Fällen zu gering, um irgend zu beachtende Schwankungen in der Concentration hervorzubringen. Auch der osmotische Uebergang der gelösten Körper, wenn überhaupt ein solcher stattfand, war doch selbst für Salpeter — unter den von mir verwandten Stoffen der am stärksten diosmirende — so unbedeutend, dass er nach Ablauf der Versuchszeit kaum zu bestimmen war.

3. Filtration unter Druck.

Die Filtration unter bekanntem Druck wurde mit dem in Fig. 3 abgebildeten Apparate gemessen. Die Zelle (*z*) ist durch ein Glasrohr, welches nur der bequemen Handhabung halber in der dargestellten Weise gebogen wurde, mit dem birnförmigen Gefäss *o* verbunden, in welchem sich Quecksilber und Wasser, resp. wie auch in der Zelle, die mit der Aussenflüssigkeit äquilibrirte Lösung des einen Membranbildners befindet. In dieses Gefäss ist das zur Aufnahme der drückenden Quecksilbersäule bestimmte Rohr *s* und ausserdem an der Basis ein rechtwinklig gebogenes Rohr eingesetzt, welches mit dem Glashahn *w* und dem Sammelgefäss *h* versehen ist. Nachdem die erwähnten Theile mit Kautschukpfropfen sehr dicht schliessend ineinandergefügt waren, wurde zunächst das Gefäss *o* zum grössten Theil mit Quecksilber, dann die Zelle (*z*) mit Flüssigkeit gefüllt und darauf in der auch aus Fig. 1 zu ersehenden Weise mit einem Kautschukkork geschlossen, durch welchen

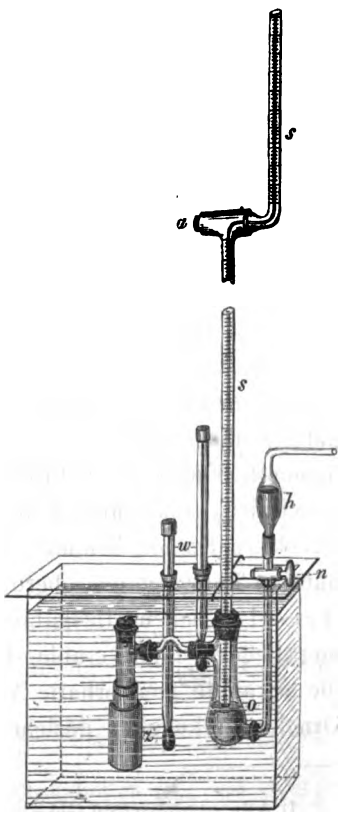


Fig. 3.

Digitized by Google

ein mit offener Capillare endendes Glasrohr geführt war. Die Kautschukkorke wurden endlich noch durch Drahtbänder unverrückbar fixirt.

Es handelt sich nun darum, die Zelle vollkommen mit Wasser zu füllen und durch dieses einen Theil des Quecksilbers im Gefäss *o* in das Sammelgefäss *h* zu verdrängen. Solches ist leicht zu erreichen, indem man mit einer geeigneten Vorrichtung Flüssigkeit durch die Capillare treibt, und dieses so oft wiederholt, bis alle Luft verdrängt und überhaupt der soeben bezeichnete Zustand erreicht ist. Nun schliesst man den Glashahn *n* und schmilzt die Capillarspitze ab, was, indem man zuerst etwas Wasserdampf erzeugt, so bewerkstelligt werden kann, dass in dem ganzen Apparate keine Luft zurückbleibt. Der Apparat wird dann, wie es aus der Figur zu ersehen ist, in eine Cüvette gebracht, welche Wasser oder die verdünnte Lösung des einen Membranbildners enthält. Um die Concentration dieser unverändert zu erhalten, ist die Cüvette mit Glasplatten überdeckt, durch welche auch 2 genaue Thermometer (*w*) geführt sind. Im Uebrigen wird der Apparat durch Einklammern des Druckrohres *s* festgehalten.

Der oberhalb des Sammelgefässes *h* befindliche rechtwinklige Schenkel wurde mit einer Druckpumpe in Verbindung gesetzt und vermittelst dieser das Quecksilber in dem Druckrohre (*s*) auf die gewünschte Höhe hinaufgetrieben. Nach Abschluss des Glashahnes *n* gestattet dann der Apparat aus der Senkung der Quecksilbersäule in dem calibrirten Druckrohr die Filtrationsschnelligkeit unter bekanntem Druck zu bestimmen.

Das von mir benutzte Druckrohr erlaubt die pressende Quecksilbersäule auf eine Höhe von 250 Centim. zu steigern. Das Rohr ist aus zwei Stücken zusammengesetzt, deren Vereinigung und Communication durch einen Glashahn hergestellt wird. Die Durchbohrung des Glashahnes und überhaupt der ganze Schluss wird durch Fig. 3 (bei *a*), namentlich aber auch durch Fig. 1 (*a*) vorgeführt und es ist sogleich ersichtlich, dass hier kein die Schlussstücke auseinandertreibender Druck zu Stande kommt. Die Theilung in Millimeter läuft von dem unteren Rohr auf das obere weiter, was bei der Vorzüglichkeit der Geissler'schen Glashähne hinsichtlich der Druckhöhe keinen bemerklichen Fehler veranlasst. Auch die Dichte des Schlusses ist durch die bekannte meisterhafte Arbeit Geissler's[1]) für noch weit höhere Drucke vollkommen gesichert. Doch glaube ich hier die Bemerkung

1) Alle angewandten Glasapparate wurden von Herrn Dr. Geissler in Bonn gefertigt.

Digitized by Google

nicht unterlassen zu dürfen, dass sowohl das Druckrohr, wie auch dessen Vereinigung mit dem Druckapparate zweckmässiger in anderer Weise zu construiren wäre [1]) und auch von mir gleich anfangs anders construirt sein würde, wenn ich nicht mit Rücksicht auf bestimmte in Aussicht genommene Versuche, welche sich erst weiterhin als unnöthig erwiesen, Grund gehabt hätte, alle Metallschlüsse zu vermeiden.

Da Glasröhren so erheblicher Länge kaum von gleichmässigem Durchmesser zu erhalten sind, so musste wenigstens für die Stellen eine genaue Calibrirung vorgenommen werden, an denen Ablesungen zur Bestimmung der Filtrationsmenge ausgeführt wurden. Es genüge hier einfach die Bemerkung, dass der Durchmesser des erwähnten unteren Druckrohres zwischen 1,48 und 1,68 Millim. lag und auch das obere Druckrohr ein ähnliches Lumen hatte.

Bei Feststellung der Beziehung zwischen Druckhöhe und Filtrationsmenge wurde die Versuchsdauer für jede einzelne Druckhöhe so ausgedehnt, dass eine Senkung der Quecksilbersäule von mindestens 8 Mm. zu Stande kam. Durch Ablesung in einigen Intervallen wurde die Genauigkeit der Beobachtungen controlirt. Mit Rücksicht auf die Veränderlichkeit der Filtrationsschnelligkeit der Membran wurde möglichst schnell operirt und zum Schluss einer Versuchsreihe noch ein Experiment bei demselben Drucke angestellt, mit welchem die Versuchsreihe eröffnet war.

Wird die Temperatur des in der Cüvette befindlichen Wassers genau regulirt und die Temperatur der Luft, mit ihr auch die Temperatur der über Wasser ragenden Quecksilbersäule, auf derselben Höhe annähernd genau gehalten, so kommt der aus Temperaturdifferenzen und Ablesung zusammen entspringende Fehler höchstens der Verschiebung einer Quecksilbersäule von 0,4 Millim. gleich, dürfte diese Höhe aber wohl keinmal erreicht haben. Die Elasticität der Kautschukkorke bringt bei der geringen Druckänderung von 10 bis 15 Mm., wie sie für einen Einzelversuch in Betracht kommt, keinen zu beachtenden Fehler mit sich. Natürlich muss jeder Schluss sehr vollkommen und der Apparat unverrückbar aufgestellt sein. Aus nicht genauer Vertikalstellung, aus Anwesenheit von Luft im Apparat entspringende Fehler und einige andere zu vermeidende Fehlerquellen kann ich füglich unerwähnt lassen.

Zur Bestimmung des wirklichen mittleren Filtrationsdruckes müssen

1) Am besten würde eine etwas modificirte Construction sein, wie sie Regnault anwendete. Mémoir. de l'Académ. d. sciences d. l'institut de France. Bd. XXI, p. 329.

Digitized by Google

ausser der Höhe der pressenden Quecksilbersäule im Druckrohr, auch die Capillardepression des Quecksilbers in diesem, ferner der Ueberdruck des in der Cüvette befindlichen Wassers und eventuelle Schwankungen des Barometers in Rechnung gezogen werden. Eine Reduction der pressenden Quecksilbersäule auf 0° C. konnte ich unterlassen, da die Temperatur in einer Versuchsreihe constant war und ich nur das Verhältniss von Druckhöhe und Filtrationsmenge kennen lernen wollte.

4. Messung der Druckhöhe.

Die osmotischen Druckhöhen wurden meist mit Luftmanometern gemessen; nur wo es sich um geringe Druckkräfte handelte, kamen wohl auch offene Manometer zur Verwendung.

Die Gestalt meines Luftmanometers führt Fig. 1 in ungefähr halber natürlicher Grösse vor. Der längere geschlossene Schenkel ist mittelst des schon vorhin erwähnten Glashahnschlusses mit dem kürzeren offenen Schenkel verbunden, welchem ein erweiterter Raum zur Aufnahme von Quecksilber angeblasen ist. Beide Schenkel tragen eine von demselben Nullpunkt ausgehende Theilung in Millimeter, welche sich auf dem geschlossenen Schenkel über eine Strecke von 200 Millimeter erstreckt. Der Durchmesser dieses Schenkels wurde gering genommen (er lag bei den 3 von mir benutzten Manometern zwischen 1,166 und 1,198 Millim.), damit die osmotische Druckhöhe sich schneller und ohne erhebliche Wasseraufnahme in dem Apparat herstellen konnte. Der durchweg grössere Durchmesser in dem zweimal rechtwinklig gebogenen Schenkel erreichte in dem erweiterten Raume 7,5 bis 8 Millim.

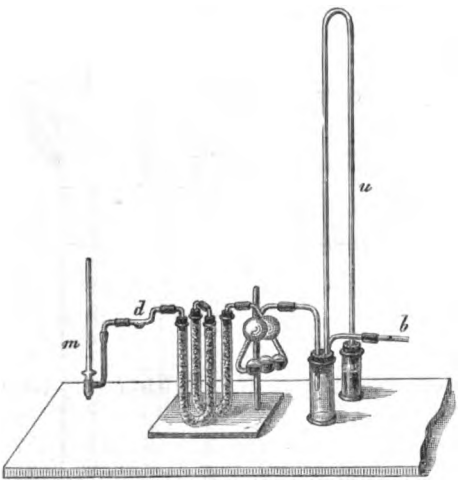
Da immerhin die Möglichkeit vorlag, dass bei längerem Gebrauch etwas Flüssigkeit zu der im langen Schenkel abgeschlossenen Luft gelangen konnte, so wurde jedes Manometer nach höchstens fünfmaligem Gebrauche von Neuem mit trockner Luft gefüllt. Uebrigens ergab ein Controlversuch, dass selbst nach zehnmaligem Gebrauche die stark comprimirte Luft sich noch ebenso wie trockene Luft bei erheblicher Temperaturerhöhung ausdehnte, dass also soviel Wasser, um durch Dampftension sich bemerklich zu machen, noch nicht in die trockene Luft gelangt war.

Wesentlich mit Rücksicht auf diese öftere Neufüllung waren die Manometer nicht aus einem Stück angefertigt worden. Zunächst wurde ein gebrauchtes Manometer auseinander genommen, wobei das Innere des langen Schenkels rein erhalten werden kann, dann wurde nach Reinigung des kürzeren Schenkels die Zusammensetzung wieder her-

Digitized by Google

gestellt. Wenn es sich um Versuche bei höherer Temperatur handelt, muss ein auch unter diesen Umständen noch zähflüssig bleibendes Fett zur Dichtung des Glashahnes Verwendung finden. Durch Anbringung eines Siegellacktropfens ist die relative Stellung der beiden Schenkel leicht unverrückbar zu fixiren; nebenbei empfiehlt es sich, eine Kautschuklamelle so anzubringen, dass der Glashahn mit gewisser Kraft in seine Hülse gepresst wird.

Ein Apparat, mit dem eine Neufüllung der Manometer ohne viele Mühe auszuführen ist, wurde in Fig. 4 abgebildet. Das Glasrohr *b* wird mit einer Luftpumpe in Verbindung gesetzt und nun der ganze Apparat möglichst evacuirt. Dann lässt man ganz langsam Luft wieder einströmen, so dass diese, durch im Kaliapparat befindliche Schwefelsäure und durch Chlorcalcium vollkommen getrocknet, in das Manometer (*m*) gelangt. Vor diesem ist ein Glasrohr (*d*) eingeschaltet, welches in einer nach unten gerichteten Aussackung Quecksilber enthält. Dieses Rohr und das Manometer werden, nachdem die Luft getrocknet und zuvor bis zu einem gewissen Grade verdünnt ist, so geneigt, dass das Quecksilber durch die einströmende Luft in das Manometer getrieben wird. Die Grösse der richtigen Evacuation kann dann an der einfachen Manometerprobe *u* für fernere Füllung markirt werden. Natürlich ist ein oft wiederholtes Auspumpen nothwendig, ehe man der Füllung des Manometers mit vollkommen trockener Luft versichert sein kann.

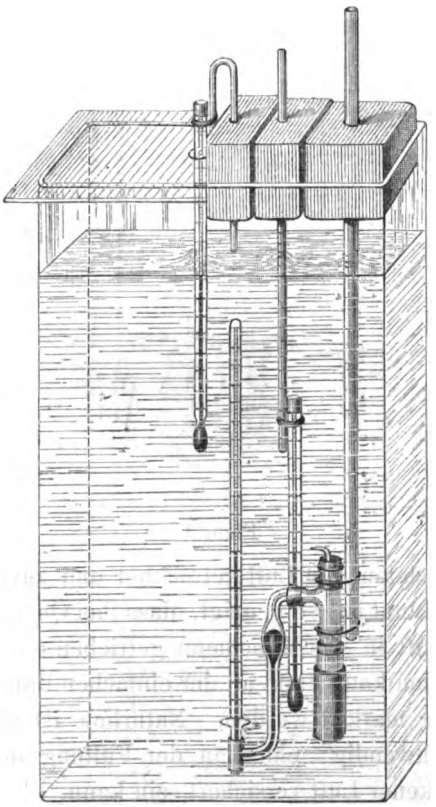


Figur 4.

Zum Gebrauche wurde der nicht mit Quecksilber angefüllte Raum im offenen Manometerschenkel mit der Flüssigkeit gefüllt, welche auf ihre osmotische Wirkung geprüft werden sollte. Mit dieser wurde dann auch die Zelle angefüllt, nachdem das Manometer, wie es Fig. 1 (p. 5) zeigt, eingesetzt war und darauf der endliche Abschluss, ohne dass Luft im Apparate blieb, in der schon vorhin angegebenen Weise, mit Hülfe eines in eine Capillare ausgezogenen Glasrohres erreicht. Nach Abschmelzen der Capillarspitze empfiehlt es sich, durch weiteres Eintreiben

Digitized by Google

des Glasröhrchens, einen gewissen Druck in der Zelle herzustellen, um die Erreichung der endlichen Druckhöhe zu beschleunigen und zugleich die Wasseraufnahme in den Apparat zu beschränken. Nach Beendigung eines Versuches lässt man die Capillarspitze vor der Lampe aufblasen und kann so den Apparat ohne jede Schwierigkeit wieder öffnen. Wenn die Form der Glasröhre (t) es mit sich bringt, dass die Kautschukkorke an ihrer inneren Endigung sich etwas erweitern, so gewinnen sie schon hierdurch einen bedeutenden Halt, doch wurden sie für höhere Druckkräfte immer noch durch Anlegung von Champagnerknoten aus Metalldraht (Kupferdraht oder eventuell Silberdraht) vor dem Heraustreiben gesichert. Ich habe bei Druckkräften bis zu 7 Atmosphären immer mit Leichtigkeit vollkommen dichte Schlüsse herstellen können.



Figur 5

Wie aus Fig. 5 zu ersehen ist, wurde die geschlossene Zelle, an einen durch Kork geführten Glasstab befestigt, so in eine Cüvette eingesetzt, dass auch das Manometer ganz in Flüssigkeit eintauchte. Durch zwei genaue Thermometer wurde die Temperatur gemessen. Die Ueberdeckung der nicht durch Korke geschlossenen Oeffnung der Cüvette mit einer Glastafel diente dazu, die Verdampfung von Flüssigkeit dann zu verhindern, wenn die Cüvette mit verdünnter Lösung eines Membranbildners angefüllt war. Der Apparat ist in der Figur ungefähr in $^1/_4$ der natürlichen Grösse dargestellt; die Cüvetten fassten beiläufig bemerkt 2 bis $2^1/_2$ Liter Flüssigkeit.

Um die genaue Vertikalstellung der Manometer leicht erreichen zu können, stellt man die Cüvetten am besten in mit Sand gefüllte Schalen. Wird über das ganze eine Glasglocke gestülpt und der Apparat in einem

Digitized by Google

gleichmässig temperirten Zimmer gehalten, so ist es unschwer zu erreichen, dass die Thermometer im Laufe einiger Stunden um weniger als $^1/_{10}{}^0$C. schwanken. Diese Constanz der Temperatur ist deshalb von Bedeutung, weil der endliche Gleichgewichtszustand zwischen osmotischem Einstrom und Filtration unter Druck, namentlich bei niederer Temperatur nur langsam eintritt und man dieserhalb genöthigt ist, vor Beendigung des Versuches sich von dem Feststehen der Quecksilbersäule im Manometer während einiger Stunden zu überzeugen. Bei Bestimmung der Druckhöhe für höhere Temperaturgrade wurde die ganze Cüvette in einen mit Sand gefüllten und mit Glasglocke überdeckten Heizapparat eingestellt, dessen Temperatur gut regulirt wurde. Bei Uebergang von niederen zu höheren Wärmegraden ist darauf zu achten, dass durch den vermehrten Druck, welchen Ausdehnung von Flüssigkeit und Luft herbeiführt, die Verschlüsse des Apparates nicht gefährdet werden.

Geringe osmotische Druckhöhen wurden wohl auch mit offenem Manometer gemessen, dessen langer Schenkel, um schnell den Gleichgewichtszustand herzustellen, aus einem engen Rohre von ungefähr 0,3 Millim. Durchmesser gebildet wurde. Gestalt und methodische Benutzung dieses Manometers bedarf keiner besonderen Erläuterung, beiläufig sei nur bemerkt, dass der Messungsfehler jedenfalls weniger als 3 Millim. beträgt.

5. Berechnung der Druckhöhe.

Die Druckberechnung aus den Ablesungen erfordern ausser den gewöhnlichen, noch einige durch Apparate und Versuchsanstellung gebotene Correctionen. Um die Berechnung möglichst bequem zu machen, verfuhr ich in folgender Weise.

Zunächst wurde das nur mit Quecksilber gefüllte Manometer, während der offene Schenkel mit Luft communicirte, vertical in einer mit Wasser gefüllten Cüvette aufgestellt. Aus den Ablesungen ergab sich unter Beachtung des Meniscusfehler und der Calibrirungstabelle des geschlossenen Manometerrohres, das corrigirte Volumen (v), welches auf 0°C. und den Druck einer Quecksilbersäule von 1 Centim. Quecksilber reducirt wurde (v^0). Diese Reduction erfordert die Kenntniss der Temperatur der eingeschlossenen Luft (t), des Barometerstandes (b), den abgelesenen Höhenunterschied der Quecksilbersäulen in den beiden Schenkeln des Manometers (d) und die zu Gunsten des geschlossenen

Digitized by Google

Schenkels ausfallende Differenz der Capillardepression des Quecksilbers (c). Man hat also:

$$v^0 = v\frac{(b \pm d - c)}{(1 + \alpha t)}.$$

Dieser Werth von v^0 ist natürlich für jede Manometerfüllung nur einmal zu berechnen. — Die Werthe von $(1 + \alpha t)$, resp. deren Logarithmen, wurden aus den Tabellen in Bunsen's gasometrischen Methoden entnommen.

Das nach Erreichung der osmotischen Druckhöhe sich ergebende corrigirte Volumen (V) reducirte ich zunächst nur auf 0° C. (V^0) und berechnete den nach dem Mariotte'schen Gesetz sich ergebenden Mehrdruck (D):

$$D = \frac{v^0}{V}(1 \pm \alpha t') = \frac{v^0}{V^0}.$$

Man erhält nun den durch osmotische Wirkung zu Stande gekommenen Druck (O), indem von D subtrahirt resp. zu D addirt wird: 1) der Barometerstand (b'); 2) der Unterschied des Quecksilberstandes in den Manometerschenkeln (d'); 3) die Capillardepression des Quecksilbers (c); 4) der auf Quecksilberdruck reducirte Ueberdruck von Seite der in der Cüvette befindlichen Flüssigkeit (e), welcher ohne zu beachtenden Fehler dem Druck einer Wassersäule gleichgesetzt werden konnte, deren Höhe vom Niveau der Cüvettenflüssigkeit bis zu dem Quecksilber in dem Sammelgefäss des kurzen Manometerschenkels reicht[1]). Es ist also

$$O = D - (b' \pm d' - c + e) = D - S.$$

Es ist natürlich am einfachsten, die Luftvolumina unmittelbar in der Millimetertheilung der Manometer auszudrücken.

Die geschlossenen Schenkel der drei von mir benutzten Manometer besassen zwischen 1,166 und 1,198 Millim. liegende Durchmesser und dem entsprechend beträgt das Volumen zwischen zwei aufeinanderfolgenden Millimeterstrichen 1,0651 resp. 1,1247 Cub.-Millim. Dieser Volumgehalt war für alle Zonen dieser Manometerröhren, wie die Calibrirung mittelst Quecksilberfadens ergab, ein als gleichförmig anzusehender. Auch der durch die abgeschmolzene Kuppe hervorgebrachte Fehler war in allen Manometern nur gering. Um mit gleichzeitiger Berücksichtigung des Quecksilbermeniscus das corrigirte Volumen zu

1) Thatsächlich besass immer die in der Zelle befindliche Flüssigkeit ein etwas höheres specifisches Gewicht als die Aussenflüssigkeit. Jedoch ist der aus Vernachlässigung dieses Umstandes entspringende Fehler zu gering, um ihn in Rechnung zu ziehen.

Digitized by Google

erhalten, bedurfte es in einem Falle gar keiner Correction, bei den beiden anderen Manometern musste 0,2, resp. 0,6 zu dem abgelesenen Volumen addirt werden, um dieses in der Millimetertheilung ausgedrückt zu erhalten.

Die Capillardepression berechnet sich für den geschlossenen Schenkel der Manometer zwischen 8,1 und 9,6 Millim. Es konnte in allen Fällen eine Correction von 9 Millim. angebracht werden, ohne (selbst bei Temperaturunterschieden) in Betracht kommenden Fehler zu begehen. Um aus Adhäsion des Quecksilbers entspringenden Fehlern vorzubeugen, musste dieses, wie auch das Manometerrohr vollkommen rein gehalten werden. Immerhin empfiehlt es sich, vor Beendigung eines Versuchs durch leichte Erschütterungen des Apparates eine eventuelle Adhäsion zu beseitigen.

Ein kleiner Fehler, welcher aus der unterlassenen Reduction der drückenden Quecksilbersäulen auf gleiche Temperatur entspringt, konnte seiner Geringfügigkeit halber hier vernachlässigt werden. Es leuchtet dieses ein, wenn man beachtet, dass die Temperatur des Quecksilbers im Barometer während aller mitzutheilenden Versuche zwischen 12 und 19 °C. lag und die drückenden Quecksilbersäulen im Manometer so niedrig sind, dass selbst bei Temperaturschwankungen von 20 °C. der Druckunterschied weniger als 1 Millim. betragen würde. Ebenso bedarf es keiner Rechtfertigung, dass die Dilatation des Glases, die nicht vollkommene Exactheit des Mariotte'schen Gesetzes und einige andere unbedeutende Fehlerquellen nicht beachtet wurden.

Die Summe der Fehler, welche aus Ablesung, Temperaturschwankung und ungenauer Einstellung der Quecksilbersäule im Manometer entspringen, wird im höchsten Falle einer Verschiebung der Quecksilbersäule im Manometerrohre um 0,4 Millim. gleichkommen. Dieses bedingt, bei einem Ueberdruck von 1 Atmosphäre, einen Fehler von etwa 3 Millim., und wenn dieser auch bei 4 Atmosphären bis nahezu auf 8 Millim. steigt, so ist doch eine ausreichende Genauigkeit hergestellt.

6. Herstellung und Controle der benutzten Lösungen.

Gelegentlich wurde schon bemerkt, dass, um die Continuität der Membran zu sichern, sehr viele Versuche bei Gegenwart der Membranogene ausgeführt wurden, deren Concentration so regulirt war, dass sich beide osmotisches Gleichgewicht hielten. Dieses ist für die von mir wesentlich benutzten Membranbildner, für Ferrocyankalium und Kupfernitrat der Fall, wenn die Lösungen von jenem 0,1 Procent, von

Digitized by Google

diesem 0,09 Procent[1]) (dem Gewichte nach) enthalten. Erfahrungsgemäss reichen diese sehr verdünnten Lösungen aus, um kleine Schäden in der Ferrocyankupfermembran zu repariren.

In fast allen Experimenten diente die Kupferlösung als Aussenflüssigkeit, während dem osmotisch zu prüfenden Zellinhalt Ferrocyankalium zugesetzt war[2]). Der unsichern Abwägung des Kupfernitrates halber wurde eine annähernd 5procentige Lösung dieses Salzes hergestellt, der Gehalt an Kupferoxyd durch Abdampfen und Glühen genau ermittelt und daraus der Gehalt an $Cu(NO^3)^2+3H^2O$ berechnet. Auch von Ferrocyankalium wurde, um Lösungen anderer Körper mit bekannten Mengen jenes bequemer herstellen zu können, eine 1procentige Lösung aus über Schwefelsäure getrocknetem Ferrocyankalium vorräthig gehalten.

Die Anwesenheit von Ferrocyankalium schliesst natürlich, sobald es sich um genaue osmotische Messungen handelt, die Verwendung solcher Stoffe aus, welche mit jenem Verbindungen oder Zersetzungen eingehen, doch würden z. B. die Natriumsalze durch Benutzung von Ferrocyannatrium einer Prüfung zugänglich werden. Auch muss erwogen werden, ob nicht in gemischten Lösungen ein indifferenter Stoff die osmotische Wirkung des Ferrocyankaliums modificirt und weiter ist zu beachten, dass für eine nach Gewichtsprocenten hergestellte Lösung der Gehalt an beigemengtem Ferrocyankalium in der Volumeinheit der Lösung dem specifischen Gewichte dieser proportional ist, während die osmotische Wirkung wahrscheinlicher zu den Gewichtsmengen in der Volumeneinheit der Lösung in proportionalem Verhältniss steht.

Betrachten wir zunächst den zuletzt erwähnten Punkt. Es möge die reine Lösung eines Körpers von diesem die Gewichtsmenge a in der Gewichtseinheit enthalten und ein specifisches Gewicht von 1,08 besitzen. Soll nun eine Lösung gewonnen werden, welche wieder in der Gewichtseinheit die Gewichtsmenge a desselben Körpers, von Ferrocyankalium aber gleichzeitig in der Volumeneinheit ebensoviel enthält, wie eine reine, 0,1procentige Lösung dieses Salzes, so müssen $\frac{0,1}{1,08} = 0,0926$ Grm. Ferrocyankalium und $100 . a$ Grm. des fraglichen Stoffes zu 100 Grm. Flüssigkeit gelöst werden. Wären 0,1 Grm. Ferro-

1) Man würde natürlich auch Kupfervitriol in geeigneter Concentration anwenden können.

2) Diese Innenflüssigkeit wurde mit destillirtem Wasser, die Aussenflüssigkeit mit Regenwasser dargestellt.

Digitized by Google

cyankalium abgewogen, so würden 0,0074 Grm. zu viel genommen sein und, falls die Gewichtsmengen in der Volumeneinheit für osmotische Wirkung massgebend ist, so müsste die Druckhöhe des zu prüfenden Stoffes um die Wirkung jener 0,0074 Grm. zu hoch gefunden werden. Ferrocyankalium habe ich nicht hinsichtlich der osmotischen Druckhöhe untersucht, doch habe ich Grund anzunehmen, dass diese für eine 1procentige Lösung geringer als 150 Ctm. Quecksilberdruck ist. Nehmen wir 150 Ctm. an, so würde die 0,0074 Grm. entsprechende Druckkraft ungefähr 1,1 Ctm. betragen. Ein solcher Fehler ist gegenüber hohen Druckkräften nicht gross; Lösungen von so ansehnlichem specifischen Gewichte, wie es unserer Betrachtung zu Grunde gelegt wurde, sind aber auch nur aus gewissen Colloidkörpern verwendbar, da Krystalloide in solcher Concentration einen Druck erzeugen, welchen unsere Apparate nicht wohl aushalten können. Bei einem specifischen Gewicht von 1,02 würde die Vernachlässigung der fraglichen Correction nur einen Fehler von 0,15 Ctm. Quecksilberdruck nach sich ziehen. Uebrigens habe ich bei Herstellung aller Lösungen, deren specifisches Gewicht 1,015 überschritt, diese Correction immer angebracht.

Unter allen von mir auf osmotische Wirkung geprüften Lösungen war eine solche mit 18 Gewichtsprocent arabischen Gummis die concentrirteste und auch die dichteste; ihr specifisches Gewicht wurde zu 1,072 bestimmt. Zwei in verschiedenen Zellen mit der reinen 18procentigen Lösung angestellte Versuche ergaben folgende Druckhöhen für Ferrocyankupfermembran: $a = 118{,}0$; $b = 120{,}4$ Ctm. Quecksilber, während die nach obigem Princip mit Ferrocyankalium hergestellten Lösungen mit 18 Gewichtsprocent Gummi für dieselben Zellen ergaben: $a = 118{,}9$; $b = 119{,}7$ Ctm. Quecksilber, also genügend genau übereinstimmende Werthe[1]). Dieses Resultat spricht auch zugleich dafür, dass die osmotische Wirksamkeit des Ferrocyankaliums durch fremde Beimengungen in keiner auffallenden Weise beeinflusst wird und was für eine concentrirte und dazu schleimige Lösung zutrifft, wird noch mehr für verdünnte Lösungen zu erwarten sein, vorausgesetzt natürlich, dass keine Zersetzungen ins Spiel kommen. Zur Sicherung habe ich auch noch 1 Procent Zucker enthaltende Lösungen in Ferrocyankupfermembran mit und ohne Gegenwart der Membranogene geprüft. Es wurde hier ohne die Membranogene 48,9 Ctm., mit den Membranogenen 49,8 Ctm. Quecksilberdruck gefunden.

In gleicher Weise wurde auch für zwei andere Membranen, für

1) Diese Versuche sind in den Belegen unter Nr. VIII A und B aufgeführt.

Digitized by Google

Berlinerblau und Calciumphosphat, zunächst das osmotische Gleichgewicht der wässrigen Membranogenlösungen aufgesucht. Da ich diesen Gleichgewichtszustand für Eisenchlorid mit Rücksicht auf eine Lösung dieses Salzes feststellte, deren Eisengehalt nicht speciell bestimmt wurde, so kann ich hier keine sicheren Angaben mittheilen. Wenn der factische und der von der Fabrik angegebene Gehalt an Eisenchlorid für meine Ausgangslösung übereinstimmen, so würden eine 0,025 procentige Lösung von wasserfreiem Eisenchlorid und eine 0,1procentige Ferrocyankaliumlösung in einer Berlinerblaumembran gleiche osmotische Wirkungen hervorbringen. Aus ähnlichen Gründen bin ich auch nicht in der Lage die Concentration der Lösungen aus Chlorcalcium und Natriumphosphat genau anzugeben, welche auf den beiden Seiten einer Calciumphosphatmembran befindlich, in osmotischem Gleichgewicht stehen.

Die Concentration der osmotisch wirkenden Lösungen erfährt bei unserer Versuchsanstellung für den Fall, dass der gelöste Körper nicht diosmirt, nur eine nicht ins Gewicht fallende Aenderung. Bei Zugrundelegung desjenigen Manometers, dessen geschlossener Schenkel den grössten Durchmesser besass, würde eine Steigung der Quecksilbersäule um 100 Mm. die Aufnahme von ungefähr 0,11 Cub.-Ctm. Wasser in den etwa 16 Cub.-Ctm. betragenden Zellinhalt anzeigen. Um den ausserdem noch in Betracht kommenden Einfluss der elastischen Compression des Kautschuks u. s. w. zu bestimmen, wurde die Capillarspitze (vgl. Fig. 1) so innerhalb eines Rohres geöffnet, dass die herausgespritzte Flüssigkeitsmenge durch Wägung bestimmt werden konnte. Diese so gefundene Menge unter Berücksichtigung ihres specifischen Gewichtes mit der Menge verglichen, welche die Manometerbeobachtung als aufgenommen angezeigt hatte, ergab die durch elastische Dehnung bedingte Aufnahme für eine Druckhöhe von 2 Atmosphären zu 0,05 Cub.-Ctm., von 4 Atmosphären zu 0,09 Cub.-Ctm. Beachtet man nun, dass zu Beginn eines Versuches durch Eintreiben des capillar ausgezogenen Glasröhrchens eine den Verhältnissen nahe entsprechende Druckkraft hergestellt wurde, so sieht man leicht ein, dass die Gesammtaufnahme von Wasser 0,14 Cub.-Ctm. kaum einmal erreicht haben wird. Eine Erörterung in wie weit Temperaturschwankungen hier in Betracht kommen, kann ich füglich unterlassen.

In allen Fällen wurde das specifische Gewicht der eingefüllten und der nach dem Versuch ausgefüllten Lösung genau controlirt; für diosmirende Körper war diese Bestimmung zur Ermittlung der Concentra-

Digitized by Google

tion am Schlusse des Versuches ohnehin geboten. Wenn die anfängliche Concentration der eingefüllten Lösung und die Verminderung des specifischen Gewchts während des Versuches bekannt sind, so ist damit, da der Gehalt an Ferrocyankalium so gut wie unverändert bleibt, der Gehalt an osmotisch wirksamer Substanz in der ausgefüllten Lösung bestimmt, sobald aus einem gegebenen specifischen Gewicht die Concentration der reinen (von Ferrocyankalium freien) Lösung ermittelt werden kann. Die Aussenflüssigkeit in der Cüvette kann natürlich bei ihrer relativ sehr grossen Menge als unverändert angesehen werden.

Da schon verdünnte Lösungen von geringem specifischen Gewicht (z. B. 1,004) hohe osmotische Druckkräfte erzeugen können, so mussten, sollte die Beziehung dieser zur Concentration genau bestimmt werden, auch die Bestimmungen des specifischen Gewichtes, resp. der gelösten Stoffmenge genügend genau sein. Die Abwägung in einem etwas mehr als 12 Grm. Wasser fassenden Gläschen kann unschwer so genau ausgeführt werden, dass die vierte Decimale jedenfalls exact ist, dagegen ist diese in keinem Falle gesichert, wenn nicht der Einfluss der Luftdichte in Rechnung gezogen wird [1]). Statt dieser nicht immer einfachen Rechnung zog ich es vor, das specifische Gewicht der eingefüllten Lösung von bekanntem Gehalte und das der mit Beendigung des Versuches ausgefüllten Lösung unter gleichen Bedingungen zu bestimmen, ein Verfahren, das freilich eine vermehrte Zahl von Wägungen mit sich brachte, weil keine Bestimmung mit einer anderen als commensurabel betrachtet werden konnte, sobald während beider Wägungen die Lufttemperatur um mehr als 2° C. und gleichzeitig das Barometer um mehr als 5 Mm. verschieden gewesen war. Beiläufig sei hier noch bemerkt, dass ich das Gläschen immer bei 17,5° C. mit Flüssigkeit füllte und dafür Sorge trug, dass die Temperatur der Wage höchstens um 2° C. differirte.

Bei eventueller Differenz in der Dichte der eingefüllten und ausgefüllten Lösung hätte streng genommen auch noch das specifische Gewicht der reinen Lösung des osmotisch geprüften Körpers auf gleiche äussere Bedingungen reducirt werden müssen. Hiervon durfte aber, da diese Differenz immer nur gering war, bei der Berechnung des diosmotischen Verlustes Abstand genommen werden. Immerhin war dann für specifisch leichtere Lösung noch eine Genauigkeit erreicht, welche der Sicherstellung der vierten Decimale bis auf eine Stelle entsprach.

1) Methode und Fehlergrenze der Bestimmung des specifischen Gewichtes sind sorgfältig behandelt von Kohlrausch in den Schriften der Gesellschaft zur Beförderung der gesammten Naturwissenschaften zu Marburg 1857, Bd. VIII, p. 1 ff.

Digitized by Google

Wenn z. B. einer 1procentigen Lösung eines Stoffes eine Dichte von 1,004 zukommt, so würde die Ermittelung ihres Gehaltes aus dem specifischen Gewichte bis auf 0,025 Procent genau sein. Eine solche Genauigkeit ist aber in der That auch nöthig, denn einem so geringen procentischen Gehalte entspricht schon eine Druckwirkung von 2,5 Ctm. Quecksilber, wenn die osmotische Wirkung einer 1 procentigen Lösung dem Drucke einer Quecksilbersäule von 100 Ctm. gleichkommt, eine Grösse, die thatsächlich noch von manchen Körpern, wie von Salpeter und Kalisulfat übertroffen wird.

Die Bestimmung des specifischen Gewichtes ist eine allgemein anwendbare und mindestens ebenso genaue Methode als irgend eine andere. Ich habe deshalb auch davon Abstand genommen den Substanzgehalt in Lösungen auf andere Weise zu ermitteln. Dagegen habe ich die Reinheit des von mir in vielen Versuchen angewandten Rohrzuckers mit Hülfe von Wild's Polaristrobometer[1]) controlirt, indem ich das Drehungsvermögen einer Lösung bestimmte, welche in 100 Cub.-Ctm. 10 Grm. bei 110°C. getrockneten Zucker enthielt. Aus den in verschiedenen Versuchen gewonnenen Ablesungen berechnete sich der Zuckergehalt zu 9,93 bis 10,05 Volumprocente, Werthe, die eben anzeigen, dass der fragliche Zucker reiner Rohrzucker war. Natürlich hinterliess dieser Zucker beim Verbrennen auch nur eine Spur Asche.

B. Versuche und Folgerungen.

---

7. Structur der Membran und Wege des osmotischen Austausches.

In der so sehr bedeutungsvollen Arbeit, welche die Herstellung von Niederschlagsmembranen lehrt, zeigte Traube[2]), dass solche nicht nur aus colloidalen, sondern auch aus krystalloiden Componenten zu entstehen vermögen. Um in Form einer Membran ausgeschieden werden zu können, muss nach Traube[3]) 1) der Niederschlag amorph sein, 2) sollen die Molecularzwischenräume der Membran so eng sein,

1) Siehe Wüllner, Physik 1871, 2. Aufl., Bd. II, p. 591. — Bei Anwendung von Natriumlicht fallen meine Zuckerbestimmungen mit diesem Apparate erfahrungsgemäss genauer als bis auf $^1/_{10}$ Procent aus.

2) L. c. 1867, p. 87.

3) Vgl. l. c., 1875, p. 59.

Digitized by Google

dass die Molecüle der Componenten nicht hindurch diosmiren können. Letzteres Postulat ist zunächst nicht in aller Strenge zu nehmen, denn, wie schon Traube nachwies, sind gewisse Niederschlagsmembranen einer allmäligen Verdickung fähig, was mit absoluter Undurchdringlichkeit für die Membranogene natürlich unvereinbar ist. Lässt man ein wenig von einer etwa 3procentigen Lösung von Kalichromat in eine ungefähr gleich concentrirte Solution von Bleiacetat einfliessen, so bildet sich an der Contactfläche beider zunächst ein membranöser Niederschlag, bald aber trübt sich der von der Membran umschlossene Raum, durch Ausscheidung von Bleichromat und nicht lange darauf zerfällt gewöhnlich die überhaupt nur geringe Cohäsion zeigende Haut. Es ist ja auch leicht begreiflich, wie bei lebhafterem diosmotischem Austausch der Membranogene die Niederschlagsmembran nicht bestehen kann und Traube[1]) hat mit Recht hervorgehoben, dass jenes Austausches halber nicht eine jede Verbindung eines Körpers zur Membranbildung geeignet ist.

Die andere Forderung Traube's, zur Membranbildung seien amorphe Niederschläge erforderlich, ist insofern richtig, als bis dahin nur Membranen aus amorph erscheinenden Niederschlägen bekannt sind. Ob aber die kleinsten Theile (Molecüle oder Molecülverbindungen) dieser nicht krystallinische Formen haben können, das ist eine offene Frage. Für etwas derartiges spricht wohl die schon von Traube[2]) beobachtete Wirkung der Membranen aus gerbsaurem Leim auf polarisirtes Licht, eine endgültige Entscheidung möchte ich aber nicht auf Grund dieses Verhaltens fällen. Jedenfalls ist es aber geboten den Ausspruch Traube's nicht als ein Gesetz anzusehen, da es recht wohl möglich erscheint, dass, bei richtiger Wahl der Membranogene, Niederschlagsmembranen aus unzweifelhaft krystallinischen kleinsten Theilchen gewonnen werden, wenn sie nicht vielleicht schon dargestellt sind. Ich selbst hatte mir aber nicht zur Aufgabe gemacht, die Bedingungen der Membranbildung speciell zu studiren.

Zwingt auch das Verständniss der experimentellen Resultate nicht unbedingt dazu, eine ganz bestimmte Vorstellung über den molecularen Aufbau der Niederschlagsmembranen zu Grunde zu legen, so macht sich das geistige Bedürfniss nach tieferer Einsicht doch um so mehr geltend, als nur auf Grund einer solchen unsere Gedanken dem Wege eines Körpers durch die Membran zu folgen und die Hypothesen über die Molecularconstitution wie immer, so auch für die Membranen, viel-

1) L. c., 1867, p. 132.
2) L. c., 1875, p. 59.

Digitized by Google

fache Anregungen zu weiteren Forschungen zu geben vermögen. Die nachfolgenden Erörterungen beziehen sich zunächst auf die thatsächlich bekannten, aus colloidalen Körpern aufgebauten Membranen, würden indess auch leicht solchen durch Fällung gewonnenen Häuten anzupassen sein, welche aus Krystalloiden zusammengefügt sind.

Alle Wahrscheinlichkeit spricht dafür, dass die näheren Bestandtheile der Colloide nicht die Molecüle selbst, sondern durch Aggregation dieser entstandene Molecülverbindungen sind. Molecüle werden bekanntlich durch wechselseitige Sättigung der chemischen Verwandtschaftseinheiten und Bindungseinheiten der Atome gebildet, Molecülverbindungen aber entstehen, indem gleichartige oder ungleichartige Molecüle, ohne Umlagerung und Zerreissung des Zusammenhaltes der sie constituirenden Atome, zu einem Ganzen höherer Ordnung zusammentreten, das zusammengehalten wird durch die wechselseitigen Anziehungen, welche die Molecüle als einheitliches Ganzes aufeinander ausüben, durch Kräfte, die natürlich aus der Wirkungsfähigkeit der Atome, aber auch aus deren räumlichen Lagerung im Molecül resultiren. Wie die Molecüle zu Molecülverbindungen, so werden wiederum diese letzteren, als einheitliches System wirkend, zu einem Ganzen noch höherer Ordnung zusammentreten und so eine grössere körperliche Masse bilden können. Vergleichen wir, um ein anschauliches Bild des zwar als Ganzes wirkenden, aber dennoch in seinen Bestandtheilen sich bewegenden Systems zu gewinnen, die Planeten aus Atomen zusammengesetzten Molecülen, so entspräche unser durch Centralkräfte zusammengehaltenes Sonnensystem einer Molecülverbindung und wie Sonnensysteme wieder vermöge der ihrer Gesammtmasse entsprechenden Resultirenden wirken, so können auch Molecülverbindungen zu einem Ganzen höherer Ordnung vereinigt werden.

Da »Molecülverbindung« ein an sich schon unbequemes, für Zusammensetzung aber unbrauchbares Wort ist, so schlage ich vor, eine Molecülverbindung ein »Tagma« (*τὸ τάγμα*, der nach Gesetz geordnete Haufen) zu nennen und glaube eine solche Benennung um so eher rechtfertigen zu können, als mir auch von Seite gewiegter Chemiker das Bedürfniss nach einer präcisen Bezeichnung zugestanden wurde. Syntagma ist dann eine jede aus gleichartigen oder ungleichartigen Tagmen zusammengesetzte Körpermasse, mit Paratagma lässt sich speciell eine vorwiegend in die Fläche ausgedehnte Masse bezeichnen, wie sie uns in den Niederschlagsmembranen vorliegt. Dass die von Nägeli begründete Anschauung über das Wesen organisirter Substanz ein specieller Fall syntagmatischer Anordnung ist, kann erst im physiologischen

Digitized by Google

Theile dieser Abhandlung gezeigt werden. Hier aber muss ich darauf hinweisen, dass dieser geniale Gelehrte mit wahrhaft bewundernswerthem Scharfsinn eine syntagmatische Anordnung für Stärkekörner und Zellhäute[1]) zu einer Zeit erschloss, als die Chemie meines Wissens Molecülverbindungen als nähere Körperbestandtheile noch nicht kannte. Leider lässt sich die von Nägeli angewandte Bezeichnung nicht beibehalten, da dieser unser heutiges Molecül Atom, unser Tagma aber Molecül nannte.

Molecülverbindungen wurden zuerst von Kekulé[2]) in die Chemie eingeführt und die Zulässigkeit, ja die Nothwendigkeit jener neben der directen Atomverkettung wird heute wohl ausnahmslos anerkannt[3]). So wenig Uebereinstimmung nun auch in concreten Fällen besteht und so sehr, namentlich bei den wechselnden Anschauungen über Valenz der Atome, tagmatische Gruppirung der Molecüle ausgedehnt oder eingeschränkt wird, so scheint doch ein solcher Zusammenhalt der Molecüle für krystallwasserhaltige Körper allgemein angenommen zu werden. Nun aber enthalten wahrscheinlichst alle Körper im colloidalen Zustand dem Krystallwasser analog gebundenes Wasser (für eine grössere Zahl ausgesprochener Hydrate ist dieses allgemein bekannt, für andere, wie Berlinerblau, Ferrocyankupfer, Calciumphosphat u. s. w. haben es Untersuchungen ergeben) und so müssen wir denn auch in den wasserführenden Colloiden Tagmen annehmen, in denen mindestens Wasser mit dem Molecüle des Körpers tagmatisch verknüpft ist.

Die langsame Hydrodiffusion, sowie die geringe oder mangelnde Fähigkeit löslicher Colloide[4]), durch solche Membranen zu diosmiren, welche Krystalloide ungemein leicht passiren lassen, sind absolut nur verständlich, wenn die näheren Bestandtheile (richtiger deren Wirkungssphäre) der Colloide relativ grosse Partikel sind und diese Ueber-

1) Nägeli, Die Stärkekörner, 2. Heft der pflanzenphysiol. Unters. von Nägeli und Cramer 1858, p. 332 ff.

2) Lehrbuch d. organischen Chemie 1861, p. 145, 444 u. s. w.

3) Siehe Lothar Meyer, Die modernen Theorien der Chemie 1872, 2. Aufl., z. B. p. 277. — A. Naumann, Molecülverbindungen nach festen Verhältnissen 1872, p. 21 ff. und Naumann, Allgemeine Chemie (I. Bd. v. Gmelin-Kraut's Handbuch der Chemie VI. Aufl.) 1876, p. 293 ff. — In wie weit Gründe dafür sprechen, dass flüssige und feste Körper Molecülverbindungen der in Gasform isolirt bestehenden Molecüle sind, ist in obigen Schriften erläutert. — Wie mancherlei chemische Erfahrungen auf complicirte Verkettungen von Atomen oder Molecülen hinweisen, ist u. a. auch jüngst wieder von Zincke hervorgehoben, Annal. d. Chemie 1876, Bd. 182, p. 243.

4) Ueber das Fortbestehen von Molecülverbindungen in Lösungen vergl. z. B. Naumann, Allgem. Chemie p. 477 ff.

Digitized by Google

legung liess auch schon Graham[1]) die Vermuthung aussprechen, es möchte der colloidale Zustand eines Körpers durch Zusammenlagerung einer gewissen Zahl krystalloider Molecüle zu Stande kommen. Nun ist es aber jedenfalls a priori wahrscheinlicher, dass eine solche Vereinigung nicht durch atomistische, sondern durch moleculare Verkettung geschieht und letzteres muss allein zulässig erscheinen, sobald man beachtet, dass gewisse Körper, z. B. das Eisenoxyd, im krystalloiden, wie im colloidalen Zustand bekannt ist. Es thut hier wenig zur Sache, dass wir lösliche und unlösliche Körper vergleichen; will man aber zu Lösungen übergehen, so beachte man etwa, dass Eisenchlorid durch Aufnahme von Eisenoxyd colloidal wird[2]), dass weiter lösliches Eisenoxydhydrat ein ausgesprochenes Colloid ist, während lösliche Ferrisalze, deren Molecül mehr als 3 Atome Wasser und vielleicht eine Säure von sehr hohem Moleculargewicht enthält, durch dieselbe Membran sehr leicht diosmiren, welche dem Ferrihydroxyd kaum in Spuren oder gar nicht Durchtritt gestattet. Alle diese Erwägungen verleihen der Annahme von Tagmen, als näherer Bestandtheile der Colloide, jedenfalls den Werth einer höchst wahrscheinlichen Hypothese[3]).

Es wird durch Uebereinkunft festzustellen sein, ob mit Syntagma ein anderer als fester Aggregatzustand von tagmatischen Massen bezeichnet werden soll. Mir selbst scheint es zweckmässiger, Syntagma für den festen Aggregatzustand zu reserviren und etwa Polytagma in anderen Fällen zur Bezeichnung zu verwenden.

Nicht eine jede Körpermasse muss aus Tagmen zusammengesetzt sein, denn es werden auch die Molecüle direct, ohne zuvorige Aggregation zu einem höheren Ganzen, unbegrenzt zusammentreten können. Eben dieser möglichen unbegrenzten Zusammenlagerung halber, können wir eine so entstehende Körpermasse, sei es ein Krystall oder ein amorpher Körper, nicht ein Tagma nennen, denn dieses ist ja nur ein aus bestimmter Anzahl von Molecülen gesetzmässig geordnetes Ganzes von geringen Dimensionen, das selbstverständlich mit den bedingenden Gesetzen auch selbst variabel ist. Es wird nun unvermeidlich der Wunsch nahe gelegt, die Zusammensetzung auch solcher Körpermassen präcis bezeichnen zu können, welche durch directe Vereinigung von

1) Annal. d. Chemie u. Pharmacie 1862, Bd. 121, p. 71.

2) Graham l. c., p. 46.

3) Ein bestimmter Unterschied zwischen Colloiden und Krystalloiden ist nicht anzugeben, doch behalte ich der Bequemlichkeit halber diese Unterscheidung bei, indem ich, wie üblich, einen relativ leicht durch Thierblase oder Pergamentpapier diosmirenden Stoff ein Krystalloid, einen relativ schwer durch solche Membran diosmirenden Körper ein Colloid nenne.

Digitized by Google

Molecülen gebildet werden. Ich möchte es aber der Zukunft überlassen, mit dem Bedürfniss auch den Namen zu creiren und darüber zu entscheiden, ob Commolecel oder Polymolecel (vox hybrida) oder ein besser klingendes Wort zu wählen ist.

Wasseraufnahme zwischen die Tagmen, wie sie Niederschlagsmembranen zukommt, ist nach unserer Definition kein Postulat für ein Syntagma, vielmehr ein unter gegebenen Verhältnissen möglicher specieller Fall. Ebenso ist eine jede Form und Zusammensetzung eines Tagmas zulässig. Welche Form den die Niederschlagsmembranen aufbauenden Tagmen zukommt, lasse ich dahingestellt. Die schon erwähnte entschiedene Doppelbrechung, welche Membranen aus Gerbsäureleim unter gekreuzten Nicols zeigen, spricht wohl zu Gunsten polyedrischer Tagmen, ohne indess ein ganz zwingendes Argument zu sein [1].

Damit ein flüssiger oder gelöster Körper diosmiren kann, muss er nothwendig die Membran imbibiren und umgekehrt, wenn eine Aufnahme in die Membran stattfindet, dann ist der diosmotische Durchgang dieses Körpers gesichert, es sei denn, dass besondere Verhältnisse erfolgreich entgegenarbeiten. Als diosmotische Wege bieten sich dar: 1) die zwischen den Tagmen bleibenden Räume und 2) für den Fall der Körper in die Constitution der Tagmen eintritt, der Durchgang durch diese selbst. Den letzteren Fall werden wir zunächst für Wasser ins Auge fassen.

Ferrocyankupfer ist, wie vielleicht alle Colloide, wasserhaltig; bei 100°C. getrocknet enthält es nach Rammelsberg [2] 7 Aequivalente Wasser, womit natürlich nicht ausgeschlossen ist, dass der Niederschlag vor dem Trocknen eine weitere, lockerer gebundene Wassermenge einschloss. Wie Graham [3] mittheilt, fällt Ferrocyankupfer aus concentrirten Lösungen der Componenten als fast farblose Gallerte nieder, welche erst bei weiterem Wasserzusatz die gewöhnliche rothbraune Farbe durch Wasseraufnahme erlangt. Es ist hier an einem bestimmten Beispiel die verbreitete Erscheinung demonstrirt, dass einem wasserhaltigen Niederschlage durch eine Salzlösung ein gewisser Theil seines che-

1) Vergl. Nägeli und Schwendener, Mikroskop 1867, p. 354.

2) Graham-Otto, Anorgan. Chemie IV. Aufl., Bd. III, p. 232. Andere Autoren geben den Wassergehalt etwas anders an. — Beiläufig sei hier bemerkt, dass bekanntlich der mit Ferrocyankalium erhaltene Niederschlag $Fe\,Cy^6\,Cu^2$ immer etwas Kali gebunden enthält.

3) Annal. d. Chem. u. Pharm. 1862, Bd. 121, p. 48.

Digitized by Google

misch gebundenen Wassers entzogen werden kann. Wenn aber eine aus solchem Niederschlag bestehende Membran Salzlösung und Wasser trennt, dann muss nothwendig, abgesehen von anderen Strömen, eine Wasserbewegung durch die Substanz selbst, also durch die Tagmen unserer Niederschlagsmembran zum Salze hin eintreten, während ein entgegengesetzter Uebertritt von Salz nicht erforderlich ist.

Obiges tritt uns in allgemeinerer Form entgegen, sobald wir es auf den continuirlichen Bewegungszustand der Materie basiren. Ein gegebener Gleichgewichtszustand in dem (um hier bei Niederschlagsmembran und imbibirendem Wasser zu bleiben) in der Zeiteinheit eine gleiche Zahl von Wassermolecülen aus dem umgebenden Medium in die Wirkungssphäre eines Tagma und aus dieser in die angrenzende Flüssigkeit fliegen, wird gestört, sobald aus irgend einem Grunde die bisherige Relation des Austausches aufgehoben wird. Dieses ist auch der Fall, wenn die Membran Wasser und die Lösung eines Stoffes trennt, welcher vermöge molecularer Anziehungskraft die Zahl der nach dieser Seite hin aus der Wirkungssphäre der Tagmen übertretenden Wassertheile vermehrt und so natürlich einen einseitigen Wasserstrom vom Wasser zur Lösung hin unterhält. Ebenso muss auch durch die Tagmen ein Wasserstrom von der Zelle in das umgebende Wasser sich bewegen, wenn das innerhalb der Zelle befindliche Wasser unter Druck versetzt und hierdurch die lebendige Kraft der Molecüle gesteigert wird.

Natürlich ist in allen Fällen der als Differenz molecularer Bewegungen sich ergebende Wasserstrom, seiner Ausgiebigkeit nach (ceteris paribus) abhängig von der Intensität der chemischen Bindung des Wassers. Denn hiervon hängt es ja ab, wie viele Wassertheilchen in der Zeiteinheit vermöge ihres Bewegungszustandes aus dem Wirkungsbereiche eines Tagmas oder eines Molecüles entfliehen. Das schon namhaft gemachte Verhalten des Ferrocyankupfers zeigt, dass in diesem wenigstens ein gewisses Quantum von Wasser nicht allzu energisch gebunden sein kann und die schwankenden Angaben über den Wassergehalt anderer colloidaler Niederschläge, wie z. B. des Berlinerblaus [1]) und des Calciumphosphates, sind vielleicht dadurch bedingt, dass bei verschiedenem Trocknen ungleiche Aequivalente Wasser entweichen. Ob nun in dem colloidalen Niederschlag bestimmte Wassermengen so lose gebunden sind, dass sie bei den üblichen Proceduren des Trocknens immer abgerissen werden, lässt sich nach den vorliegenden An-

1) Nach Graham-Otto, Lehrbuch d. Chemie IV. Aufl., Bd. 2, p. 1202 enthält bei 100° getrocknetes Berlinerblau 12 Aequivalente Wasser. — Ueber Calciumphosphat siehe ebenda p. 554.

Digitized by Google

gaben nicht beurtheilen, eigene Untersuchungen in dieser Richtung habe ich aber nicht angestellt.

In analoger Weise werden auch andere Körper durch Tagmen, Molecüle u. s. w. sich bewegen (diosmiren) können, sobald sie in die Constitution dieser eintreten, welche natürlich dabei auch unter Umständen wesentlich geändert werden kann. Ich glaube hier nur von Constitution sprechen zu können, da man wohl jeden Eintritt eines Stoffes in das Molecülaggregat eines Tagmas als einen Fall chemischer Bindung ansehen darf. Die Menge des so gebunden werdenden Stoffes, sowie die Art und Weise dieser Bindung werden natürlich wesentlich mit massgebend für die Quantität des diosmotischen Austausches auf diesem Wege sein.

Dem Durchgang von flüssigen und gelösten Körpern ist die diosmotische Bewegung von Gasen durch Flüssigkeitsschichten insoweit im Wesentlichen analog, als es sich um Absorption des Gases auf einer Seite der Flüssigkeitslamelle und Rücktritt in den gasförmigen Zustand auf der entgegengesetzten Seite handelt; hier geht eine Gasbewegung nach der Seite, auf welcher das Gas unter geringster partiärer Pressung steht.

Einen weiteren Weg für Durchtritt eines Stoffes durch eine Membran bieten die zwischen den Tagmen bestehenden Räume, deren Existenz die Discontinuität der Materie selbstverständlich fordert. Freilich könnten diese intertagmatischen Räume von minimaler Grösse sein und selbst dem Wasser keinen Eintritt gestatten, ein Fall, der bei jedem für dieses Medium impermeablen Syntagma thatsächlich realisirt sein würde. Bei unseren Niederschlagsmembranen dringt aber Wasser sicher in diese Räume ein. Es folgt dieses sogleich daraus, dass auch gelöste Körper die Membran diosmotisch durchwandern, welche gegen den Niederschlag selbst nachweislich ganz indifferent sind, also durch die Tagmen selbst nicht passiren können. So lange aber dieser letztere Weg nicht ausgeschlossen ist, kann natürlich nicht ohne Weiteres aus der Permeabilität der Membran für einen bestimmten Stoff auf ausschliessliche Bewegung in intertagmatischen Räumen geschlossen werden. Die Wasseraufnahme in diese ist nach dem namhaft gemachten Criterium für alle mir zu Handen gekommene Niederschlagsmembranen zu erweisen, und auch deshalb, sobald Permeabilität vorliegt, nothwendig, weil die Häute jedenfalls nie aus einer einzelnen Schicht von Tagmen bestehen. In der Dickenrichtung der Membran aneinandergereihte und sich nicht direct berührende Tagmen erfordern aber, um sich

Digitized by Google

gegenseitig Wasser mittheilen zu können, dass die intertagmatischen Räume selbst Wasser führen.

Die Unfähigkeit, auch gewisser sonst leicht diosmirender Körper, Niederschlagsmembranen zu durchwandern, kann über die geringe Weite der intertagmatischen Räume keinen Zweifel lassen, es fragt sich aber, ob diese Räume ihrer ganzen Ausdehnung nach durch von den Tagmen ausgehende Anziehungskräfte beherrscht werden.

Wie Poiseulle folgerte, Wilhelmy[1]) experimentell bewies, entsteht auf der Oberfläche eines in adhärirende Flüssigkeit tauchenden festen Körpers eine verdichtete, als Function des Abstandes von dem Körper veränderliche Schicht[2]). Eine solche wird sich auch um ein Tagma bilden müssen, sofern die Flüssigkeit adhärirt und dieses kann ja bei benetzt werdenden Niederschlägen nicht bezweifelt werden. Der Radius der Wirkungssphäre für die vom festen Körper ausgehende Anziehungskraft wurde schon von Plateau, dann aber direct von Quincke[3]) zu ermitteln gesucht und von beiden im Mittel zu etwa 55 Milliontel eines Millimeters bestimmt. So gering diese Grösse auch absolut genommen, so ist sie doch mit Rücksicht auf Molecüle und Molecularzwischenräume erheblich genug, auch dann, wenn dieselbe noch geringer sein sollte.

Selbst bei nur geringer Verdichtung in der veränderlichen Schicht müssen doch, wegen der schwierigen Zusammendrückbarkeit der Flüssigkeiten, gewaltige Molecularkräfte in Wirksamkeit getreten sein. Es ist auch nicht daran zu zweifeln, dass die Verschiebbarkeit der Wassertheilchen in der veränderten Schicht sehr herabgesetzt ist und namentlich wird Massenbewegung durch Druck nicht sogleich hervorgerufen werden. Das ist ja auch, wie Poiseulle[4]) begründete, in Capillaren der Fall, in welchen eine ruhende Wandschicht des flüssigen Mediums den Canal bildet, in dem die Flüssigkeit strömt. Vollkommen ruhend ist natürlich diese verdichtete Wandschicht nicht, ein einseitiger Druck muss auch in ihr eine Fortbewegung von Flüssigkeit nach der Seite des geringeren Widerstandes bewirken, aber innerhalb gewisser Druckgrenzen wird nicht eine Massenströmung, sondern eine Fortbewegung wie überhaupt in einer durch Molecularkräfte gebundenen Flüssigkeit,

---

1) Poggendorff's Annalen, 1864, Bd. 122, p. 12.

2) In wie weit hier die bestimmenden Kräfte als von der Fläche oder der Masse des Körpers ausgehend zu betrachten sind, ist eine Frage, die wir auf sich beruhen lassen können.

3) Poggendorff's Annalen, 1869, Bd. 137, p. 402.

4) Annal. d. Chim. et d. Physique 1843, III. ser., Bd. VII, p. 50.

Digitized by Google

d. h. eine moleculare Fortbewegung eintreten. Dem entsprechend wollen wir denn auch für capillare Räume die Massenströmung als »capillare Wasserbewegung« von der »molecularen Wasserbewegung« unterscheiden und unter letzterer allgemein eine Wasserbewegung verstehen, welche sich in Räumen vollzieht, die in dem Bereiche der Wirkungssphäre fester Körper liegen. Diese allein wird noch fortbestehen, wenn der Durchmesser des capillaren Raumes unter den doppelten Radius der Wirkungssphäre herabsinkt [1]).

In dem Bereiche von Molecularkräften vollzieht sich auch der Wasserdurchgang durch die Tagmen selbst und auch diesen Durchtritt werde ich unter dem Begriffe der »molecularen Wasserbewegung« zusammenfassen; auf Molecularkräfte führt sich ja auch die von den Tagmen als einheitliches Ganzes ausgehende Wirkung zurück. Der Wasserdurchtritt durch und in die Tagmen lässt sich, wo nöthig, näher als diatagmatisch und amphitagmatisch unterscheiden. Ob das in die Tagmen aufgenommene Wasser als chemisch, das um dieselben gelagerte als physikalisch gebunden anzusehen ist, hat für uns keine Bedeutung und ist ohne willkürlich gezogene Grenzen überhaupt nicht zu entscheiden. Was soeben für den Durchgang des Wassers erörtert wurde, gilt im wesentlichen auch für jeden anderen flüssigen oder gelösten Körper, welcher in den Bereich der Molecularkräfte eintritt.

In thierischer Blase, noch mehr in Thonzellen, sind zweifellos capillare Wasserbewegung gestattende Räume vorhanden, welche wohl in allen früher zu osmotischen Versuchen benutzten Scheidewänden, auch den pflanzlichen Zellhäuten, wiederkehren. Sofern irgend ein Stoff auch die näheren Bausteine einer solchen Membran — seien dieses nun Tagmen, Molecüle oder andere Massentheilchen — zu durchdringen vermag, werden im Princip die drei vorhin unterschiedenen Wege in derselben Haut vereint vorliegen. Ob solches zutrifft ist sehr wahrscheinlich, doch ohne eine besondere Untersuchung schwer zu entscheiden. Die Zusammensetzung aus Tagmen, welche wir nach Nägeli's scharfsinnigen Untersuchungen für vegetabilische Zellhäute und überhaupt organisirte Gebilde annehmen müssen, fordert natürlich den dreifach möglichen Weg nicht als nothwendige Consequenz. Ja, Nägeli

---

1) Die Verdichtung der Schicht wird dann allerdings modificirt, die Gesammtanziehung auf jeden beliebigen inneren Punkt muss aber, auch bei Kugelform des capillaren Raumes, nicht Null werden. Es ist dieses, wie die Mechanik lehrt, nur unter Bedingungen der Fall, welche bei den hier in Betracht kommenden anziehenden und abstossenden Kräften nicht realisirt sind oder wenigstens nicht gegeben sein müssen.

Digitized by Google

sieht sogar die Tagmen selbst als nicht imbibitionsfähig an, eine Anschauung, welche indess in dieser Allgemeinheit nicht zu halten ist. Es ist vielleicht nicht überflüssig zu bemerken, dass die verschiedenen für Diosmose eines Stoffes möglichen Bahnen, auch unabhängig von einer bestimmten Anschauung über die Molecularconstitution, von bekannten Thatsachen gefordert werden, gleichviel ob die Membran aus Molecülen, Tagmen oder anderen Massentheilchen zusammengefügt ist. Dass ich es aber vorzog, den wahrscheinlichen Aufbau der Niederschlagsmembranen den Betrachtungen zu Grunde zu legen, bedarf wohl einer Rechtfertigung nicht.

Die Bildung einer Grenzschicht an der Porenwandung, in welcher die Lösung anders zusammengesetzt ist, als in der Achse des Porus, muss nach dem zuvor Erörterten immer eintreten, sobald die von der Wandung ausgehenden anziehenden und abstossenden Kräfte durch ungleiche Wirkung auf gelösten Körper und Lösungsmedium eine bestimmte Vertheilung dieser in der Grenzschicht herbeiführen. Auf die Existenz einer solchen Grenzschicht in Poren ist Brücke's [1] Theorie der Osmose gegründet. Wenn im Bereiche der von der Wandung ausgehenden Wirkungen Wasser mit grösserer Energie angezogen wird, so muss natürlich aus einer Salzlösung eine diluirtere Lösung in die Membran aufgenommen werden und dieses haben in der That auch Versuche Ludwig's [2] für Thierblase ergeben, als die beim Eintauchen in eine Salzlösung von bekannter Concentration aufgenommene Flüssigkeitsmenge bezüglich ihres Salzgehaltes controlirt wurde [3]. Freilich sind diese Versuche für eine variable Wandungsschicht im Porus nicht streng beweisend, denn gleiches Resultat muss auch erzielt werden, wenn Wasser, oder verdünntere Lösung in die Masse näherer Körperbestandtheile, also etwa in Tagmen, eindringt und die Existenz einer solchen Aufnahme ist für Thierblase noch nicht widerlegt worden. Natürlich muss die Grenzschicht, wenn auch durch Verdichtung entstanden, doch nicht immer dichter sein, als die angrenzende Flüssigkeit. So ergaben

---

1) Poggendorff's Annal. 1843, Bd. 58, p. 77 ff.

2) Zeitschrift für rationelle Medicin von Henle und Pfeufer 1849, Bd. VIII, p. 15. — Aehnliche Versuche stellte Cloetta an, siehe dessen Dissertation »Diffusionsversuche u. s. w. Zürich« 1851. — Siehe auch Fick, Medicin. Physik, II. Aufl., 1866, p. 31.

3) Analoges soll nach Liebig (Unters. über einige Ursachen der Säftebewegung u. s. w. 1848, p. 50) beim Eintauchen von Thonzellen in Salzlösung stattfinden. Diese Versuche scheinen indess nicht mit genügender Vorsicht angestellt zu sein, um als beweisend angesehen werden zu können.

Digitized by Google

Wilhelmy's [1]) Versuche beim Eintauchen von Platten in ziemlich concentrirtes Glycerin die Bildung einer specifisch leichteren Wandungsschicht, offenbar weil diese aus verdünnterer Lösung bestand. Diese Wandungsschicht muss ja eine verdünntere Lösung sein, sobald von der Wandung ausgehende Kräfte auf Lösungsmedium und gelösten Körper entsprechend wirken.

Dass die erwähnte Brücke'sche Theorie der Diosmose nicht zur Erklärung aller Vorgänge ausreiche, wurde zuerst von Fick [2]) ausgesprochen, welcher weiterhin [3]) Eindringen von Körpern in capillare Räume und in die Masse der Membran selbst unterschied und demgemäss den in capillaren Räumen vor sich gehenden Austausch von Wasser und Salz »die Porendiffusion«, dem Austausch durch die Substanz der Membran »der Endosmose« entgegenstellte. So richtig nun auch die Gesichtspunkte sind, auf welche diese Trennung gebaut ist, so glaube ich doch aus praktischen Rücksichten jeden Austausch durch eine beliebige Membran [4]) als »Osmose« oder »Diosmose« bezeichnen zu müssen. Denn z. B. in thierische Blase sind sicher, wie auch Fick annahm, Porendiffusion und Endosmose (im Sinne Fick's) gleichzeitig vorhanden und sehr gewöhnlich, auch für die Niederschlagsmembranen, wird eine bestimmte Entscheidung ob capillarer Durchgang durchaus fehlt, nicht zu treffen sein [5]). Ja es ist denkbar, dass dem unter gegebenen Verhältnissen allein vorhandenen molecularen Durchgang eines Stoffes, mit dem Wechsel äusserer Verhältnisse, z. B. der Temperatur, auch capillare Osmose sich zugesellt. Ausserdem ist diese, sobald verdichtete Wandschicht vorliegt, nicht ohne gleichzeitige moleculare Osmose möglich. Indem wir Osmose und Diosmose als eine allemeine Bezeichnung beibehalten, kann die Art und Weise des Durchganges durch »capillare« und »moleculare« Osmose näher gekennzeichnet werden und sollte eine noch speciellere Bestimmung des von einem Stoff durchwanderten Weges nothwendig sein, so stehen diatagmatisch

---

1) Poggendorff's Annalen, 1864, Bd. 122, p. 13.

2) Poggendorff's Annalen, 1855, Bd. 94, p. 86.

3) Moleschott's Untersuchungen zur Naturlehre des Menschen und der Thiere, 1857, Bd. III, p. 296. — Vgl. auch Fick, Medicinische Physik, 1866, II. Aufl., p. 30.

4) Ich meine hier natürlich nur solche Membranen, deren Einfluss auf Austausch von Stoffen merklich ist und durch deren Einschaltung die Mischung nicht etwa ebenso wie bei Hydrodiffusion vor sich geht.

5) Es würde auch noch Osmose durch quellungsfähige und nicht quellungsfähige Scheidewand getrennt werden können. Wo Quellung stattfindet, ändert sich mit dieser die Grösse der Zwischenräume.

Digitized by Google

und amphitagmatisch, eventuell intramolecular und extramolecular ja zu Gebote. Endosmose werde ich wohl auch, wie schon früher bemerkt wurde, den in das Innere einer Zelle gehenden osmotischen Strom nennen.

Diffusion (Hydrodiffusion) kurzweg soll, entsprechend dem wohl schon üblichen Gebrauche, das Ineinanderströmen flüssiger und gelöster Körper, wie es durch die diesen zukommenden Molecularkräfte bedingt ist, genannt werden. Eine solche echte Diffusion wird natürlich auch in Poren von gewisser Weite möglich sein, in zweifelhaften Fällen aber empfiehlt es sich, von capillarer Diffusion zu sprechen. Ein Ineinanderströmen von Stoffen unter dem Einfluss der von einer Scheidewand ausgehenden Molecularkräfte, sollte aber als moleculare Diffusion, nicht einfach als Diffusion bezeichnet werden, ausser wenn der Sinn des Satzes den fremden Einfluss in sich schliesst.

Ein jeder in Wasser oder in einem andern flüssigen Medium gelöster Körper, welcher in die Tagmen selbst nicht aufgenommen wird, kann nur durch die intertagmatischen Räume diosmiren und dieses natürlich nur dann, wenn es das Grössenverhältniss zwischen gelöstem Körper und dem ihm zugänglichen Gebiete gestattet. Dieses Gebiet aber kann für verschiedene Körper in derselben Membran von ungleicher Dimension sein. Die beiden extremsten Fälle wären gegeben, wenn das einemal das Molecül (oder Tagma) eines gelösten Körpers in die Wirkungssphäre der Tagmen (oder anderer näherer Körperbestandtheile) gar nicht eindringt, das anderemal diese ganze Wirkungssphäre einem Molecüle offen steht. Die Stoffvertheilung in der Wirkungssphäre der Tagmen ist je von der Wechselwirkung zwischen Tagmen einerseits und dem lösenden und gelösten Körper anderseits, d. h. von den zwischen diesen thätigen anziehenden und abstossenden Kräften abhängig und dem entsprechend sind sowohl die obigen Extreme, wie alle Zwischenstufen möglich. Dieses beachtet ist aber klar, dass die Durchgangsfähigkeit eines Stoffes nicht ausschliesslich von dem Durchmesser der intertagmatischen Räume abhängt und das negative oder positive Resultat diosmotischer Versuche mit verschiedenen Körpern und einer Membran oder umgekehrt mit verschiedenen Membranen und demselben Körper, kein relatives Grössenmaass der gelösten Molecüle abgibt, wie dieses Traube[1]) annimmt; für verschiedene Körper kann eben dieselbe Membran den Werth eines Siebes mit ungleich weiten Maschen

1) L. c., 1867, p. 141.

Digitized by Google

haben. Relative Grössenbestimmung der gelösten Molecüle würde die Kenntniss der Stoffvertheilung in der Wirkungssphäre der Tagmen als eine Function des Abstandes von diesen erfordern. Diese Function wird aber von verschiedenen Variabeln bestimmt, sie ist zunächst nicht nur von der Wechselwirkung zwischen Membrantheilchen und gelöstem Körper, sondern auch den zwischen diesem und Wasser wirkenden Kräften und der lebendigen Kraft der Molecüle abhängig und wenig Hoffnung ist zur Zeit vorhanden, diese verwickelte Function auch nur annähernd ermitteln zu können [1]).

Die Differenz zwischen dem wirklichen Durchmesser und dem einem gelösten Körper zugänglichen Areale der intertagmatischen Räume kann höchstens dem doppelten Wirkungsradius der Tagmen gleichkommen und wenn thatsächlich dieser Unterschied immer geringer sein muss, so ist er doch mit Rücksicht auf die Dimensionen der Molecüle nicht eine verschwindende Grösse. Es leuchtet dieses ja sofort ein, tritt aber auch hervor, wenn wir die Bestimmungen von Wirkungsradius und Molecülgrösse vergleichen, die freilich, namentlich was letztere betrifft, auf irgend Genauigkeit keinen Anspruch machen kann. Wie schon früher (p. 38) bemerkt wurde, bestimmten Plateau und Quincke für eingetauchte Platten den Radius der Wirkungssphäre, d. h. den Bereich, in welchen Cohäsions- und Adhäsionskräfte der Flüssigkeit beeinflusst werden, zu etwa 55 Millionstel eines Mm. Auf verschiedene Erwägungen gestützt, kam aber Thomson [2]) zu dem Schlusse, dass in flüssigen und durchsichtigen festen Körpern der mittlere Abstand zwischen den Mittelpunkten aneinanderliegender Molecüle, also annähernd der Durchmesser eines Molecüls mit Einschluss seiner Wirkungssphäre kleiner als ein 10 Milliontheil und grösser als ein 200 Milliontheil eines Millimeters sein müsse. Uebrigens ist zu bemerken, dass, ohne mit den Erwägungen Thomson's in Widerspruch zu kommen, der Durchmesser der Tagmen gelöster Körper grösser sein kann.

Einem gelösten Körper wird nach dem Vorausgegangenen dann schon der Weg durch eine Niederschlagsmembran vielleicht unmöglich sein können, wenn seine Molecülgrösse den Durchtritt durch denjenigen intertagmatischen Raum nicht gestattet, welcher ausserhalb der Wirkungssphäre der Tagmen liegt. Da aber auch manche Kry-

1) Diatagmatische Osmose würde, selbst wenn amphitagmatische Osmose ausgeschlossen werden könnte, noch weniger im Stande sein, ein relatives Maass für Molecülgrösse zu liefern.

2) Annal. d. Chem. u. Pharmacie, 1871, Bd. 157, p. 66.

Digitized by Google

stalloide nicht diosmiren, so muss der die capillare Wasserbewegung (nach früherer Definition) gestattende Raum mindestens von sehr geringem Durchmesser sein. Wenn wir nun beachten, dass schwerlichst die ganze für Wasser zugängliche Wirkungssphäre einem gelösten Körper verschlossen sein dürfte, so spricht alle Wahrscheinlichkeit dafür, dass hier alle intertagmatischen Räume im Bereiche der Wirkungssphäre der Membransubstanz liegen, dass also in solchen Niederschlagsmembranen nur moleculare Osmose stattfindet. Die Beeinflussung des diosmotischen Durchganges eines Körpers ist natürlich nicht die gleiche in allen Zonen der Wirkungssphäre.

Auch andere Erwägungen, wie sie z. B. auf Grund der Filtrationsschnelligkeit unter Druck und der Molecularkräfte angestellt werden könnten, welche zum Zusammenhalt der einzelnen Tagmen nothwendig sind, würden die Frage, ob allein moleculare Wasserbewegung in einer Membran möglich ist, nicht über die wahrscheinliche Bejahung hinausbringen. Am wahrscheinlichsten wird es scheinen, dass die mittleren Abstände der Tagmen, wenigstens nach jeder einzelnen Raumrichtung gemessen, gleich gross sind. Jedoch darf man die Möglichkeit nicht ausser Auge lassen, dass kranzförmige oder andere geeignete Anordnung, Zwischenräume von sehr verschiedener Weite gestatten könnte. Einige Schlussfolgerungen, wenigstens über die mögliche mittlere Grösse der Interstitien, würden auf Grund der aufgenommenen Wassermenge, der Quellungserscheinungen u. s. w. durch eine ähnliche Discussion zu ziehen sein, wie sie von Nägeli[1]) so scharfsinnig zur Ermittelung des molecularen Aufbaues der Stärkekörner angewandt wurde. Je nach dem Resultat solcher Erwägungen könnte vielleicht auch die Frage beantwortet werden, ob Kugelgestalt der Tagmen möglich oder polyedrische Form nothwendig ist. Da ich diese und andere Punkte, welche auch thatsächlich für das eigentliche Ziel meiner Arbeit unwesentlich waren, nicht in den Bereich meiner Untersuchung zog, so muss ich es mit diesem kurzen Hinweis bewenden und die anschliessenden Fragen unberührt lassen.

Sollten sich aber in einer Niederschlagsmembran, der Wahrscheinlichkeit entgegen, capillare Osmose gestattende Räume finden, so ist es doch, bei dem jedenfalls nur möglichen äusserst geringem Durchmesser dieser, kaum denkbar, dass irgend ein Körpermolecül die immerhin messbar dicke Membran durchwandert, ohne dabei in den Bereich der Wirkungssphäre der zweifellos vielfache Schichten bildenden Tagmen zu

1) Die Stärkekörner 1858, p. 333 u. 351.

Digitized by Google

gelangen. Es ist dieses um so mehr einleuchtend, wenn man bedenkt, dass, abgesehen von anderen Umständen, schon die Art und Weise der Entstehung neuer, die Membranen allmälig verdickender Tagmen eine solche Aneinanderreihung dieser nicht gestattet, um geradlinig und senkrecht zur Hautfläche verlaufende Capillarräume zu bilden und demgemäss also ein Körper einen geschlängelten Weg zu durchwandern hat[1]. Im allgemeinen wird also bei unseren Niederschlagsmembranen nur moleculare, bei thierischen Häuten, Cellulosemembranen und sich ähnlich verhaltenden Scheidewänden gleichzeitig moleculare und capillare Osmose stattfinden.

Eine Combination moleculärer und capillarer Osmose ist nach Exner's[2] Untersuchungen auch beim Austausch von Gasen durch Flüssigkeitslamellen gegeben. Für dieselbe Lamelle wird das Verhältniss der von verschiedenen Gasen (ohne Druck) übergehenden Mengen durch $\frac{c}{\sqrt{d}}$ ausgedrückt, d. h. die Osmose eines Gases ist dem Absorptionscoefficienten (c) direct und der Quadratwurzel aus der Dichte (d) umgekehrt proportional. Diese experimentellen Resultate nöthigen zu der Annahme, dass in einer Lamelle, welche aus mit wenig Seife versetztem Wasser erzeugt wird, immer noch Poren vorhanden sind, durch welche ein Theil des Gases, wie durch einen feinen Canal in dünner Wandung, nach dem Graham'schen Gesetze überströmt[3].

Die Darstellung liefert die Niederschlagsmembran immer im mit Wasser imbibirten Zustand. Dieses Imbibitionswasser kann aber selbstverständlich durch wasseranziehende Medien partiell entzogen und mit Aufhebung der Ursache wieder zurückgegeben werden. Die Niederschlagsmembran ist eben, wie auch Thierblase und Pflanzenzell-

---

1) Ein numerischer Ausdruck für die Wahrscheinlichkeit des Anstosses, d. h. des Eindringens eines die Membran durchwandernden Körpers in die Wirkungssphäre der Tagmen, könnte in analoger Weise entwickelt werden, wie es von Clausius geschah, um Einwendungen Buys-Ballot's zu widerlegen, welche die langsame Diffusion der Gase, als mit der angenommenen Molecularbewegung derselben unverträglich, hinzustellen suchten. Clausius, Abhandl. über die mechan. Wärmetheorie 1867, II. Abthlg., p. 260 ff. — Ferner zu vergleichen Clerk-Maxwell, Ueber mittlere Weglängen der Gase zwischen den Zusammenstössen. Referat in Zeitschrift »Der Naturforscher«, 1876, p. 419 ff.

2) Sitzungsb. d. Wiener Academie, 1874, Bd. 70, Abth. 2, p. 465.

3 Ob der Durchtritt von Gasen durch Kautschuk, sowie durch glühende Platten gewisser Metalle, ausschliesslich durch Absorption der Gase vermittelt wird, wie Graham interpretirt, oder ein gemischter Vorgang der oben erörterten Art ist, müssen Versuche entscheiden.

Digitized by Google

haut ein quellungsfähiger Körper, dessen Volumen sowohl durch alleinige Abgabe von Wasser aus intertagmatischen Räumen, wie auch durch Wasserabgabe aus den Tagmen selbst schwanken kann. Ob nach totaler Austrocknung die Membran wieder auf den früheren Zustand zurückgehen kann, ist eine Frage, welche ich nicht zu entscheiden versuchte. Wohl aber ermittelte ich durch Messung der Intensität des osmotischen Wasserstroms, dass jedesmal der den Verhältnissen entsprechende stationäre Zustand schnell erreicht ist, wenn man in einer Zelle eine concentrirte Lösung durch eine verdünnte Lösung ersetzt. Es ist dieses zu bemerken vielleicht nicht überflüssig, da nach Fick[1]) der durch Collodiummembran gehende Salzstrom zunächst an Intensität zunimmt und jedenfalls erst nach längrer Zeit constant zu werden scheint. Selbst sehr dichte thierische Häute, wie Hornhaut vom Ochsen, erreichen übrigens nach Eckhardt[2]) relativ schnell den stationären Zustand, wenn sie vor dem Gebrauche getrocknet worden waren.

Die völlige Identität beider Seiten einer Niederschlagsmembran hinsichtlich der osmotischen Wirkung kann keinem Zweifel unterliegen. Bei nicht homogenen Membranen kann es natürlich nicht ganz gleichgültig sein, ob die innere oder äussere Membranfläche der Sälzlösung zugewandt ist[3]).

8. Diosmose gelöster Körper.

Wurde in dem vorigen Abschnitte wesentlich die Art und Weise der Imbibition in Membranen mit Rücksicht auf Osmose behandelt, so sollen nun gewisse osmotische Erfolge ins Auge gefasst werden.

Der einfachste Fall von Osmose ist nicht bei wechselseitigem Austausch, sondern dann gegeben, wenn nur eine einseitige Stoffbewegung, etwa von Wasser, in Folge osmotischer Wirkung durch eine Membran geht, ein Vorgang, welcher mit Traube's Niederschlagsmembranen vielfach herzustellen ist. Bis auf Traube waren osmotische Untersuchungen fast ausschliesslich auf Ermittlung des Verhältnisses gerichtet, nach welchem sich Salz[4]) und Wasser austauschen, welches Verhältniss durch den Quotienten des Salzes in das Wasser ausgedrückt.

---

1) Moleschott's Untersuchungen, 1857, Bd. III, p. 315.

2) Poggendorff's Annalen, 1866, Bd. 128, p. 98.

3) Vgl. Eckhardt, l. c., p. 68. — Mateuci u. Cima, Annal. d. Chim. et d. Physique 1845, Bd. 13.

4) Es sei hier erlaubt, der Einfachheit halber gelöste Stoffe als Salz zu bezeichnen.

Digitized by Google

bekanntlich von Jolly als endosmotisches Aequivalent bezeichnet wurde. Von einem solchen kann dann, wenn Salz überhaupt die Membran nicht passirt, wenn also das Aequivalent unendlich würde, eigentlich keine Rede mehr sein und auch für die physiologischen Fragen tritt die Kenntniss des endosmotischen Aequivalentes in den Hintergrund. Da freilich, wo es sich um Erhellung bestimmter osmotischer Vorgänge, ferner um Erforschung und Zergliederung der Kräfte handelt, welche die Osmose bedingen und beherrschen, wird das Verhältniss der sich austauschenden Mengen immer eine bedeutungsvolle Rolle spielen.

Als einen in Geweben, speciell in vegetabilischen Zellen häufigen Fall, treffen wir diosmotischen Austausch gelöster Stoffe bei constantem Volumen der Zelle und umgekehrt, während das Volumen sich ändert, einen Wasserstrom ohne Austritt gelöster Stoffe; natürlich sind auch Combinationen gewöhnliche Erscheinungen. Ein Austausch nach endosmotischem Aequivalente, wie dieses im Experimente ohne einseitigen Ueberdruck bestimmt wird, ist weder bei Stoffwanderung, noch bei anderen von Osmose abhängigen Leistungen nothwendig und thatsächlich in der lebenden Pflanzenzelle nie realisirt, so lange der in dem Inneren herrschende Druck die Ausgiebigkeit des Wasserstroms regulirt.

Die von der Physiologie uns aufgedrängten Fragen gehen zunächst darauf hinaus, ob durch eine gegebene Membran 1) ein Stoff überhaupt und wenn, in welchen Quantitäten unter gegebenen Verhältnissen diosmirt und 2) welche endliche Druckhöhe durch einen in eine Zelle gerichteten Strom zu Stande kommt, als Gleichgewichtszustand zwischen diesem osmotischen Strome und der unter Druck filtrirenden Flüssigkeitsmenge. Diese zweite Frage nahm ich mit Niederschlagsmembranen in Angriff, um die Ursache für die oft so sehr hohen hydrostatischen Druckkräfte in Pflanzenzellen kennen zu lernen. Die erste Frage habe ich nicht speciell zu beantworten gesucht und ich durfte auch vom physiologischen Standpunkte aus so verfahren, da die bereits vorliegenden Daten zunächst ausreichend erscheinen, um als Leitsterne beim Studium der Diosmose von Stoffen durch diejenigen Membranen zu dienen, welche für Stoffaufnahme in vegetabilische Zellen massgebend sind.

Soeben wurden die Gründe angedeutet, welche mich veranlassten, specielle Untersuchungen über Diosmose gelöster Körper und eventuell Bestimmung des endosmotischen Aequivalents zu unterlassen. Indem ich bezüglich der Diosmose einer Reihe von Körpern auf Traube's[1])

1) L. c., 1867, p. 134.

Digitized by Google

Versuche verweise, beschränke ich mich darauf, einige wenige Beobachtungen mitzutheilen.

Membranen aus Ferrocyankupfer fand ich für Gummi und Dextrin (reines) absolut impermeabel. Nachdem 15 und 20procentige Lösungen dieser Stoffe bis zu 14 Tagen in Zellen verweilt hatten, war in der Aussenflüssigkeit, nach Eindampfen dieser auf ein möglichst geringes Volumen und nach zuvorigem Kochen unter Zusatz von etwas Schwefelsäure, mit Fehling'scher Lösung keine Spur einer Reaction zu erhalten. Da ich die Zellen bei Gegenwart der Membranbildner stehen liess, so musste natürlich die nachherige Prüfung der Flüssigkeit den jeweiligen Verhältnissen entsprechend ausgeführt werden.

Bei Anwendung von Rohrzuckerlösung bis zu 5 Procent Gehalt konnte nach 12tägigem Stehen bei Temperaturen von 12 und von 20° C. kein Uebergang von Zucker nachgewiesen werden. Dagegen wurde in der eingedampften Aussenflüssigkeit eine ganz kleine Menge von Kupferoxydul jedesmal erhalten, wenn Zuckerlösungen von 10 Procent und mehr Gehalt in die Zelle gebracht worden waren. Die Niederschlagsmembran aus Ferrocyankupfer lässt also Zucker, jedoch in nur sehr geringer Menge diosmiren[1]). Ebenso verhielt sich eine Membran aus Calciumphosphat.

Leichter passiren Chlorkalium und Kalinitrat die Ferrocyankupfermembran. Für letzteres Salz könnte ich einige quantitative Angaben, wie sie aus der Aenderung des specifischen Gewichtes der eingefüllten und dabei an Volumen constant gebliebenen Lösung sich ableiten lassen, hier anführen, unterlasse dieses aber, da ohnehin die unbekannte Dicke der Membran auf die in gleichen Zeiten übertretenden Salzmengen influirt. Auch für Ammoniumacetat, sowie für verdünnte Salzsäure ist die Ferrocyankupfermembran permeabel.

Ebenso fand ich nach 6 Stunden aus einer 5procentigen Lösung von Kalisulfat geringe, aber sicher nachweisbare Mengen in die Aussenflüssigkeit übergegangen. Es ist dieses Resultat übrigens verträglich mit Traube's[2]) Angabe, die Ferrocyankupfermembran sei für obiges Salz impermeabel, wenn man beachtet, dass dieser Autor mit Membranen von kleinerer Fläche und mit verdünnterer Lösung arbeitete, endlich auch seine Versuche geringere Zeit dauern liess. Das aber wird man hier-

---

1) Es muss auch die Möglichkeit ins Auge gefasst werden, dass Diosmose erst durch Einwirkung concentrirter Lösung auf die Membran hervorgerufen werden könnte. Aus den mitgetheilten Versuchen mit Zucker folgt solches natürlich noch nicht.

2) L. c., 1867, p. 139.

Digitized by Google

nach zugeben müssen, um über eine als vollkommen anzusehende Impermeabilität zu entscheiden, wird es neuer Versuche bedürfen. Osmotische Experimente und die darauf zu bauenden Schlüsse werden freilich von dem Durchtritt minimaler Salzmengen wenig berührt, für physiologische Vorgänge aber kann schon eine ganz geringe Osmose bedeutungsvoll werden.

9. Osmotischer Wasserstrom ohne Diosmose des wirkenden Körpers.

Am einfachsten gestaltet sich die endosmotische Wasserbewegung, wenn der osmotisch wirkende Körper die Membran nicht passirt. Dann wird durch die molecularen Kräfte, welche überhaupt der Osmose zu Grunde liegen, auf der innern Membranfläche eine Saugkraft entwickelt, welche einen Wasserstrom durch die Membran treibt, der in dieser natürlich mit gleichen Widerständen zu kämpfen hat, wie eine beliebig erzeugte Wasserbewegung.

Beiderseitig mit Wasser in Contact, fliegen in der Zeiteinheit eine gleiche Zahl von Wassermolecülen aus dem umspülenden Wasser in den Bereich der Wirkungssphäre der Membrantheile und umgekehrt aus diesem Bereiche in das Wasser zurück. Kommt nun eine Membranseite in Contact mit der Lösung eines nicht diosmirenden Körpers, so prallen die Molecüle dieses an der Membran ab und da die Flächeneinheit der Membran in der Zeiteinheit jetzt von einer geringeren Zahl von Wassermolecülen getroffen wird, wie zuvor, während (ceteris paribus) immer noch eine wesentlich gleiche Zahl von Wassermolecülen aus der Wirkungssphäre der Membrantheilchen entflieht, so muss ein zu der Salzlösung gehender Wasserstrom nothwendig entstehen. Indess dieser so erzeugte Wasserstrom ist, wie weiterhin dargethan werden soll, immer nur ein Theil, und sehr gewöhnlich nur ein geringer Theil von der Wasserbewegung, welche zu Stande kommt, indem die der Membran genäherten Salzmolecüle anziehend auf die Wassertheilchen wirken, welche an und in dem Wirkungsbereiche der Membrantheilchen liegen.

Bedeutungsvoll müssen aber nothwendig die zwischen Membrantheilen und Salzmolecülen wirkenden Molecularkräfte eingreifen. Durch diese wird, wie aus früheren Erwägungen hervorgeht (p. 38), in der ja auch auf der Innenfläche der Membran existirenden Grenzschicht eine der Affinität (sit venia verbo) zwischen Wasser, Salz und Membrantheilen entsprechende Vertheilung des gelösten Körpers und des

Digitized by Google

Wassers erzielt werden, welche ihrer Zusammensetzung nach von der anstossenden Lösung verschieden sein kann. Eine solche Schicht, in welcher Wasser und Salz als Function des Abstandes von den Membrantheilchen vertheilt sind, muss sich, sobald ein Stoff nicht diosmirt, über die ganze Membranfläche hinziehen. Ich werde diese Schicht weiterhin »Diffusionszone« nennen. Die Constitution dieser Diffusionszone ist in allen Fällen ein wichtiger Factor für die Intensität des in das Zellinnere gerichteten Wasserstromes. Denn dass dieser mit der Concentrationsdifferenz in aneinandergrenzenden Elementarschichten der Lösung steigt, ist ja ohne weiteres klar.

Die Affinität zwischen Salz und Membran wird, wenn nicht besondere Wirkungen, etwa chemische, im Spiele sind, den osmotischen Wasserstrom nicht direct bedingen, sondern eben vermöge der Constitution der Diffusionszone regeln. Die Triebkraft für den Wasserstrom ist namentlich gegeben durch Anziehung zwischen Salz und Wassermolecülen, ferner auch durch den schon erwähnten Factor, durch die ungleiche Relation zwischen den auf die Flächeneinheit der Membran treffenden und den aus dieser herausfliegenden Wassermolecülen. Es sind dieses aber dieselben Molecularkräfte, welche das Ineinanderbewegen von Salz und Wassermolecülen bei der freien Hydrodiffusion bewirken; in unserer Zone ist eben unter besonderen Verhältnissen auch eine Diffusion besonderer Art als treibende Kraft des osmotischen Wasserstroms thätig. Die Entziehung von Wassermolecülen auf der Membranfläche ruft dann natürlich einen durch die Membran gehenden Nachstrom von Wasser hervor.

Die Molecularkräfte, welche die Constitution der Diffusionszone bedingen, sind natürlich auch für Erhaltung dieser auf stationärem Zustand thätig. So wird nothwendig im Wirkungsbereiche jener Molecularkräfte die Bewegung der Salzmolecüle geregelt, welche auf eine Aenderung der Diffusionszone hinzielt und ebenso suchen diese Molecularkräfte die Erweiterung der Diffusionszone zu verhindern, welche der erzeugte osmotische Wasserstrom anstrebt, indem er die Salztheilchen von der Membran zurücktreibt. Da aber die lebendige Kraft dieses immer nur mässigen Wasserstromes offenbar nur gering ist, gegenüber den Molecularkräften, welche auf Erhaltung des stationären Zustandes der Diffusionszone hinarbeiten, und mit geringer Entfernung zweier Molecüle (oder anderer Massentheilchen) die anziehend wirkenden Molecularkräfte schnell zunehmen, so wird dieser Einstrom auch keine merkliche Erweiterung der Diffusionszone bewirken können. In der That steht dieses auch im Einklang mit erst später mitzutheilenden

Digitized by Google

Versuchen über das Verhältniss, welches die ohne Druck beobachteten Wasserströme unter sich, sowie die correspondirenden endlichen Druckhöhen unter einander ergeben. Ist diese Druckhöhe in einer Zelle erreicht, dann fällt die bisherige Ursache für Erweiterung der Diffusionszone ja hinweg, weil nun einwärts und auswärts gerichteter Wasserstrom von gleicher Stärke sind. Da nun die durch verschiedene Lösungen nicht diosmirender Körper erzeugten Wasserströme unter sich in demselben Verhältniss stehen, wie die von den gleichen Lösungen hervorgebrachten Druckhöhen, so kann eine wesentliche Erweiterung der Diffusionszone durch die lebendige Kraft des einseitigen Wasserstroms nicht herbeigeführt werden. Beiläufig sei hier schon bemerkt, dass die von einem Wasserstrom in einer Niederschlagsmembran zu überwindenden Widerstände proportional der Intensität dieses Wasserstromes wachsen.

Indem wir, sofern nicht etwa chemische Wirkungen im Spiele sind, die osmotische Triebkraft auf einen unter besonderen Verhältnissen sich abspielenden Diffusionsvorgang zurückführen, ist wenigstens die Aussicht eröffnet, für freie Hydrodiffusion gewonnene Gesetze auch für osmotische Vorgänge, zunächst für solche, wo der wirkende Körper nicht diosmirt, verwendbar zu machen, wenn auch jene Diffusionsgesetze selbst noch nicht auf die ihnen zu Grunde liegenden molecularen Wirkungen zurückgeführt werden können. Freilich stehen einer Aufhellung der osmotischen Vorgänge auf solchem Wege immer noch grosse Schwierigkeiten entgegen und einfacher Vergleich der durch die Bewegung der Wasser- und Salztheilchen bei der Hydrodiffusion ausgedrückten Arbeitsleistung mit dem osmotischen Einstrom kann natürlich nicht ohne weiteres zu einem Resultate führen, auch wenn man zugleich durch Ermittelung der vom Wasserstrom in der Membran zu überwindenden Widerstände ein Maass für die wirklich entwickelte Saugkraft gewinnt. Es kann ja für verschiedene Stoffe die Diffusionszone nicht nur ungleich ausgedehnt sein, sondern sich sowohl in der Zusammensetzung räumlich correspondirender Zonen, als auch in der Aenderung dieser Zusammensetzung mit dem Abstande von den Membrantheilchen ganz different verhalten. Es fehlen noch alle Anhaltspunkte, um über diese Punkte eine Entscheidung fällen zu können, auch darüber ist nicht zu urtheilen, ob in concreten Fällen, dann, wenn im Bereiche der von den Membrantheilchen beherrschten Wirkungssphäre nur eine Lösung von bestimmtem Gehalte bestehen kann, ein plötzlicher, gleichsam sprungweiser Uebergang zu der Concentration der in der Zelle befindlichen Lösung vorliegt. Im allgemeinen würde

Digitized by Google

wohl der oben angedeutete Vergleich Wahrscheinlichkeitsgründe dafür beibringen können, ob die Lösung in der Diffusionszone verdünnter oder concentrirter als die anstossende Flüssigkeit ist; ersteres dürfte aus früher mitgetheilten Gründen dann meist zu erwarten sein, wenn es sich um gegen die Membransubstanz indifferente gelöste Körper handelt und die Möglichkeit liegt ja auch vor, dass bei ganz überwiegender Affinität zwischen Membransubstanz und Wasser jene zunächst mit einer reinen Wasserschicht überzogen ist.

Nach Obigem kann es nicht erwartet werden, ja wäre es rein zufällig, wenn die Schnelligkeit der Wasserbewegung bei Hydrodiffusion und bei osmotischem Einstrom für verschiedene Körper in demselben Verhältniss ständen. Die Relation der Wasserbewegung bei freier Diffusion wird durch die auf gleiche Einheiten bezogenen Diffusionsconstanten verschiedener Salze angezeigt, da ja ein diesen gleiches Wasservolumen nach entgegengesetzter Richtung strömt. Nach Beilstein und Voit's[1] Versuchen berechnet sich, als Constante, wenn die des Rohrzuckers = 1 gesetzt wird, für Kalisulfat = 2,24, für Salpeter = 2,9. Für 1 procentige Lösungen[2] derselben Stoffe ergeben sich aber als Mittelwerthe für den osmotischen Wasserstrom in Ferrocyankupfermembran aus zwei vergleichenden, je mit einer Zelle durchgeführten Versuchsreihen, wenn wieder der durch Zucker erzeugte Strom als Einheit angenommen wird, für Kalisulfat 4,39 und für Salpeter 4,61[3] (Belege Nr. V). Auch ohne dass die jenen Diffusionsconstanten entsprechenden Wasservolumina berechnet werden, sieht man doch, dass diese und die osmotischen Wasserströme nicht in demselben Verhältniss stehen.

Gibt auch die Diffusionsschnelligkeit eines Körpers keinen bestimmten Aufschluss über dessen osmotische Wirkung, so kann man doch nach dem früher Erörterten im allgemeinen darauf rechnen, dass ein langsam diffundirender Stoff auch nur geringeren osmotischen Wasserstrom hervorbringen wird, denn die Diffusionsschnelligkeit ist ja selbst

---

1) Voit, Poggendorffs Annalen 1867, Bd. 130, p. 233 u. 423. Die Constanten für Kali = 1 sind Salpeter = 0,912, Kalisulfat = 0,703, Rohrzucker = 0,314. Letztere Constante wurde von Voit bestimmt, die beiden anderen sind nach Beilstein's Versuchen umgerechnet.

2) Wir vergleichen hier Gewichtsprocente enthaltende Lösungen von nicht ganz gleicher Dichte, während obige Constanten auf Lösungen bezogen sind, welche gleiche Gewichtsmengen in der Volumeneinheit enthalten. Der damit begangene Fehler ist übrigens nur gering.

3) Es ist zu bemerken, dass Salpeter in geringer Menge diosmirt, wodurch der osmotische Wasserstrom etwas, jedoch nur wenig, herabgedrückt wird.

Digitized by Google

von den zwischen Wasser und Salz wirkenden Molecularkräften abhängig. Diese Erwartung findet durch das Experiment ihre volle Bestätigung, indem mit allen Colloiden, welche bekanntlich nur langsam diffundiren, geringe osmotische Druckhöhen entstanden, die hier, wo es sich um nicht diosmirende Stoffe handelt, sehr annähernd genau auch die Relation des ohne Druck stattfindenden osmotischen Wasserstromes im Vergleich zum Zucker anzeigen. Da wir auf diesen Punkt nochmals zurückkommen, so sei hier nur erwähnt, dass z. B. eine 6procentige Lösung von flüssigem Leim einen osmotischen Druck von 24 Ctm., eine 6procentige Lösung von arabischem Gummi[1]) von 24 bis 27 Ctm. Quecksilber ergab, während eine gleich concentrirte Zuckerlösung eine Quecksilbersäule von ungefähr 290 Ctm. gehoben haben würde (Vgl. Tab. 8 im Abschnitt 14 »Osmotische Druckhöhe«). Der flüssige Leim[2]), wie auch das arabische Gummi enthielten eine nennenswerthe Menge krystalloider Salze, welche die osmotische Wirkung höher stellen, als sie reiner Leim und reines Arabin geliefert haben würden. Indess reichen ja schon die so gewonnenen Zahlen vollkommen aus, um die von der Theorie für Colloide geforderte geringe osmotische Wirkung zu erweisen, welche, wie später mitzutheilende Druckversuche zeigen, auch für Conglutin und Dextrin zutrifft.

Auch in Thierblase, Pergamentpapier und ähnlichen Häuten können Colloide geringere osmotische Wirkung als gewisse Krystalloide ausüben (Näheres später). Schon Dutrochet's[3]) Versuche ergaben für Lösungen gleichen specifischen Gewichtes (die für Zucker und Gummi auch hinsichtlich der Concentration nicht sehr verschieden sind) die osmotische Wirkung von Gelatinwasser, Gummi und Rohrzucker zu resp. 3; 5,17 und 11. Der die Leistung des Zuckers etwas übertreffende Werth für

1) Nach Graham's Angaben (Ann. d. Chem. u. Pharm. 1862. Bd. 121, p. 11) würde sich für arabisches Gummi und Zucker die Diffusionsschnelligkeit wie 2,8 zu 5 berechnen. Nach Hoppe Seyler (Medic.-chem. Untersuchungen 1866, Hft. I, p. 14) scheint aber Gummi (das ja kein bestimmtes chemisches Individuum ist) weit langsamer zu diffundiren. — Für andere Colloide ist zwar die langsame Diffusion bekannt (vgl. Graham l. c. p. 17), doch existiren keine genauen Bestimmungen der Diffusionsconstante.

2) Es war dieses Leim, wie er zur Darstellung der Zellen aus Gerbsäureleim nach Traube's Verfahren sich eignete. — Schneller als durch langes Kochen gewinnt man diesen Leim, indem man concentrirte Leimlösungen heiss in geschlossene Glasröhren bringt und einige Stunden auf 120 bis 130° C. erhitzt. Da sich der Leim nur bei einem gewissen Gehalt an gelatinirendem Leim zur Zellbildung eignet, so muss man durch nachherigen Zusatz von Gelatine eine geeignete Composition herstellen.

3) Mémoir. p. servir à l'histoire d. végétaux et d. animaux 1837. p. 34 (Brüssler Ausgabe).

Digitized by Google

Hühnereiweiss (= 12) ist schon deshalb incommensurabel, weil dieses erhebliche Mengen krystalloider Körper gelöst enthält[1]. Für reines Albumin fand denn auch Baranetzky[2] eine nur sehr geringe osmotische Wirkung, ebenso für andere Colloide, für Arabin und Gerbsäure. Baranetzky operirte auch, ausser mit Thierblase, Pergamentpapier und Collodiumhäuten, mit Cellulose, welche aus Collodiummembranen (Nitrocellulose) gewonnen waren, indem die NO^2 Gruppen wieder durch Wasserstoff ersetzt wurden. Das diosmotische Verhalten dieser Cellulosehäute ist übrigens ein ähnliches, wie das von Thierblase und Pergamentpapier[3]. — Graham's[4] Angabe, den Colloiden käme im allgemeinen hohe osmotische Wirkung zu, ist einfach unrichtig. Die als Stütze angeführte Beobachtung, dass Traganthgummi auf eine Seite einer Membran gebracht schnell zu gallertartiger Masse aufschwelle, kann aus nahe liegenden Gründen als ein zu Schlüssen berechtigender Versuch überhaupt nicht angesehen werden[5].

Es ist schon darauf hingewiesen worden (p. 49), wie, unabhängig von den zwischen Salz und Wassermolecülen wirkenden Kräften, ein einseitiger Wasserstrom nach der Salzlösung hin in Folge des Bewegungszustandes der Materie zu Stande kommen muss, sobald weniger Wassermolecüle in die Membran, als aus dieser in entgegengesetzter Richtung sich bewegen. Diese Differenz und damit der entsprechende Wasserstrom ist im allgemeinen (ceteris paribus) um so grösser, je mehr Salzmolecüle in der Volumeinheit der Lösung vertheilt sind und dennoch bringt eine 1procentige Kalisulfatlösung einen höheren Druck und einen stärkeren Wasserstrom zu Stande, als eine Lösung, welche 18 Gewichtsprocente arabischen Gummis enthält; mit Ferrocyankupfermembran wurde für jene die Druckhöhe zu 192 Ctm., für diese zu 119 Ctm. Quecksilber gefunden. Hieraus geht aber, unter Erwägung schon mitgetheilter Thatsachen und Erläuterungen, hervor, dass die osmotische Wirkung ganz wesentlich von den zwischen gelöstem Körper

1) Das flüssige Hühnereiweiss, wie es in Eiern enthalten, hinterlässt etwa 3 Procent Asche. Kühne, physiol. Chemie 1868, p. 553.

2) Poggendorff's Annal. 1872, Bd. 147, p. 234.

3) Endosmotische Versuche wurden ausser mit den schon genannten Membranen und abgesehen von Niederschlagsmembranen, auch angestellt mit Eierschalen, Steinplatten, Thonzellen, Pflanzenblättern, Holzlamellen, coagulirtem Eiweiss und noch anderem Materiale.

4) Annal. d. Chem. u. Pharmacie 1862, Bd. 121, p. 75.

5) Ebenso folgt ja auch nicht aus dem Zerfliessen von Chlorcalcium, dass dieses höhere osmotische Wirkung ausübt, als ein nicht hygroskopischer Körper. — Die geringe Kraft, mit welcher manche Colloide in Lösung gehalten werden (Vgl. Graham l. c. p. 69) spricht auch nur für geringere Affinität zum Wasser.

Digitized by Google

und Wasser wirkenden Anziehungskräften abhängt und der unabhängig hiervon durch den Bewegungszustand der Wassermolecüle bedingte Wasserstrom für die durch eine Salzlösung bewirkte Osmose von nur untergeordneter Bedeutung ist.

10. Osmotischer Wasserstrom mit Diosmose des wirkenden Körpers.

Ehe wir die Osmose und speciell den Wasserstrom bei gleichzeitigem diosmotischen Durchgang des gelösten Körpers beleuchten, erinnere ich daran, dass capillare oder moleculare Osmose möglich sind und bei letzterer wieder der Weg um und durch die Massentheilchen der Membran führen kann. Zunächst soll der Fall ins Auge gefasst werden, welchen Brücke seiner osmotischen Theorie zu Grunde legte, dass nämlich ein enger mit Flüssigkeit gefüllter Porus gegeben ist, in welchem ein Achsencylinder ausserhalb des Bereichs der von der Wandung ausgehenden Molecularkräfte liegt. Die Consequenzen dieser Auffassung wurden ausführlich von Fick[1]) entwickelt und darf ich mich deshalb auf das für uns wesentliche beschränken.

In dem fraglichen Achsencylinder wird eine Lösung unverändert imbibirt, während in der Grenzschicht eine in ihrer Constitution von Molecularkräften abhängige und mit dem Abstand von der Membran veränderliche Schicht sich bildet, welche in sehr vielen Fällen wohl bestimmt gegen die Membran hin an Concentration abnimmt und unmittelbar an dieser wohl auch reines Wasser werden kann. Stösst eine Oeffnung des Porus an eine als unendlich gross zu betrachtende Wassermenge, während die andere Oeffnung in Salzlösung mündet, so muss in Folge der Diffusionsvorgänge (molecularer und capillarer) die Concentration im Porus selbst von 0 bis zur Dichte der Salzlösung oder eventuell bis zu der Concentration wachsen, welche als Maximum in den einzelnen concentrischen Zonen der Grenzschicht bestehen kann. Im capillaren Achsencylinder und in allen Cylindermänteln, in welchen Salzlösung von gleicher Concentration, wie sie der Zellinhalt besitzt, bestehen kann, ist keine Ursache für Volumzunahme des Zellinhaltes gegeben, da, wie bei Hydrodiffusion, Salz und Wasser nach gleichen Volumina sich austauschen[2]). Ist aber die Concentration in einem Cylindermantel der Grenzschicht geringer, als in der Salzlösung, dann muss an der Grenze beider eine Diffusionszone sich constituiren,

1) Poggendorff's Annal. 1855, Bd. 94, p. 74 ff.

2) Ob ganz genau, das ist fraglich, wie später gezeigt werden soll.

Digitized by Google

die einen Wasserstrom in die Zelle schafft, welcher den auswärts gerichteten Salzstrom an Ausgiebigkeit übertrifft. Die Intensität dieses einseitigen Wasserstromes hängt ab von der Concentrationsdifferenz zwischen Cylindermantel und Salzlösung, der Höhe der Diffusionszone und der Natur des gelösten Körpers. Auch hier muss die Gestaltung der Diffusionszone aus schon beigebrachten Gründen durch die zwischen Salz, Wasser und Membrantheilen wirkenden Molecularkräfte bedingt sein und wird nur in geringem Maasse von dem erzeugten Wasserstrom beeinflusst werden, nicht aber wesentlich von diesem abhängen, wie Fick[1]) annimmt.

Durch osmotische Wirkung kommt also in gewissen Zonen der Grenzschicht eine einseitige Wasserbewegung zu Stande, welche Volumzunahme des Zellinhaltes bewirkt. Steigt in Folge dessen der Druck in der geschlossenen Zelle, dann dient dem nach aussen gerichteten Filtrationsstrom der ganze Porencanal und gerade in dem bezüglich der Volumzunahme des Zellinhaltes indifferenten Achsencylinder, geht, analog wie in einem Capillarrohre, die ausgiebigste Flüssigkeitsbewegung vor sich, welche eventuell bis zur Massenströmung gesteigert sein kann. Es ist hiernach sofort klar, wie die Druckhöhe, das endliche Gleichgewicht zwischen Einstrom und Ausstrom, für eine Membran mit weiteren Poren geringer ausfallen muss, als für eine solche mit engeren Poren und am höchsten wird, wenn die Poren sich so weit verengen, dass Salz nicht mehr diosmirt. Näher wird auf die Beziehung zwischen Membranbeschaffenheit und Druckhöhe erst weiterhin eingegangen werden.

Hinsichtlich der Diosmose durch die Massentheilchen selbst, gilt wesentlich dasselbe, wie für die unter dem Einfluss molecularer Kräfte in der Grenzschicht sich austauschenden Stoffe, wo ja auch schon der Fall geboten sein kann, dass ein Körper nicht osmirt.

Bei Durchmusterung aller über das endosmotische Aequivalent $\left(\frac{\text{Wasser}}{\text{Salz}}\right)$ festgestellten Thatsachen findet sich keine, welche nicht, bei Würdigung der Membranbeschaffenheit, mit den entwickelten Principien in Einklang zu bringen wäre. Da es indess durchaus nicht in meinem Plane lag, specielle Studien über das endosmotische Aequivalent zu machen, so habe ich auch keine Veranlassung diesen Gegenstand einer ausführlichen Discussion zu unterwerfen, muss mich vielmehr auf Andeutung einiger wesentlicher Punkte beschränken.

Am einfachsten muss sich jedenfalls der relative Austausch durch

1) L. c., p. 77.

Digitized by Google

Thonzellen oder durch andere nicht quellungsfähige Scheidewände gestalten, in welchen sich natürlich auch eine specifische Grenzschicht bilden wird, welche, das ist festzuhalten, nothwendig mit verschiedenen Concentrationsgraden derselben Salzlösung bis zu einem gewissen Grade sich ändern muss. Dieses allein schon (obgleich auch noch andere Umstände in Betracht kommen) vermag zu erklären, warum das endosmotische Aequivalent für verschiedene Concentrationen nicht vollkommen constant ist, warum ferner, wie es Fick [1]) fand, der Salzstrom bei geringer Dichte der Lösung zunächst rascher wachsen und selbst ein Maximum erreichen kann. Bei Thonzellen ist die Filtration verhältnissmässig ausgiebig und deshalb wird ein geringer einseitiger Ueberdruck schon einen erheblichen Fehler herbeiführen können. Da auch bei Thierblase und anderen Membranen, auch den Niederschlagsmembranen, ein jeder Ueberdruck Filtration herbeiführt, so wird hierdurch immer ein kleiner Fehler erzeugt, welcher indess verschwindend gering ist, wenn der osmotische Einstrom gegenüber der Filtration sehr gross ist [2]).

In Thierblase und ähnlichen Membranen sind zweifellos auch capillare Poren neben engeren Räumen vorhanden, welche letztere vielleicht theilweise gewisse Salze nicht diosmiren lassen. Eine solche Anordnung könnte allein schon alle beobachteten Erscheinungen der Diosmose und der Quellung erklären, doch sind diese Erscheinungen auch mit gleichzeitigem Durchtritt von Wasser oder auch von Salzmolecülen durch die Membrantheilchen verträglich [3]). Ob dieser letztere Vorgang, wie es wahrscheinlich scheint, mit im Spiele ist, muss ich dahin gestellt sein lassen. Bezüglich der Relation des Austausches ist aber wohl zu beachten, dass gewisse Räume (oder Membrantheilchen)

1) Fick in Moleschott's Untersuchungen 1857, Bd. III, p. 341. — Eckhardt's Einwände (Pggdf's Ann. 1866, Bd. 128, p. 91) sind mit Vorsicht aufzunehmen, weil die so ungleiche Porosität verschiedener Thonzellen wesentlich mit in Betracht kommt.

2) Eckhardt (l. c., p. 87) fand die Stärke des Salzstromes beeinflusst, wenn sich dieser in Herzbeutel entgegen einem Drucke von mehr als 8 Ctm. Quecksilber zu bewegen hatte.

3) Fick (Poggendorff's Annalen Bd. 94, p. 83 u. 85) hebt namentlich zwei Punkte hervor, welche ihm mit Diosmose durch enge Räume unverträglich scheinen. Die eine Annahme, das endosmotische Aequivalent müsse erheblich abnehmen, wenn der Salzlösung etwa feste Stoffe zugesetzt und dadurch die Beweglichkeit der Theilchen vermindert würde, trifft nicht mehr zu, sobald die Diffusionszone, wie es thatsächlich der Fall ist, durch relativ grosse Molecularkräfte constant erhalten wird (Siehe p. 50). — Die andere Ansicht, das endosmotische Aequivalent müsse schnell abnehmen, wenn stark verdünnte Lösungen zum Vergleich gewählt würden, vernachlässigt die Aenderung der Grenzschicht mit der Concentration der anstossenden Salzlösung und gilt für quellungsfähige Membranen auch deshalb nicht, weil die Durchmesser enger Poren mit der Concentration variiren.

Digitized by Google

vielleicht nur Wasserbewegung gestatten, welche in einseitig überwiegender Weise auch in der Grenzschicht, oder wenigstens in gewissen Zonen dieser zu Wege kommt. Nun ist aber bei Thierblase nicht nur die Grenzschicht in gleichem Sinne wie in Thonzellen variabel, sondern die diosmotischen Wege selbst müssen, wie es die Quellungsfähigkeit anzeigt, mit Concentration der Salzlösung ihre Dimensionen ändern. Wenn mit wechselnden Bedingungen der Uebergang von einem zum anderen stationären Zustand in ungleichen Zeiten erfolgt, so berechtigt dieses aber nicht, wie es Fick[1]) versuchte, darauf einen principiellen Unterschied der Diosmose zwischen quellungsfähigen und nicht quellungsfähigen Körpern zu begründen. Bei Collodiummembranen dürften übrigens, der nicht vollkommenen Stabilität der Nitrocellulose halber, auch andere Umstände mitwirken, um die Erreichung eines stationären Zustandes aufzuhalten und vielleicht in weiteste Ferne zu verschieben.

Einen einfachen Hinweis auf das osmotische Verhalten gewisser Säuren glaube ich nicht unterlassen zu dürfen, da schon von Dutrochet[2]) mitgetheilte, von Graham[3]) im Princip bestätigte und theilweise erweiterte Beobachtungen, bei vielen osmotischen Studien keine Erwähnung gefunden haben; ich meine die Volumabnahme — die negative Osmose Graham's — vieler Säuren, wenn sie durch gewisse Membranen von Wasser getrennt sind. Beachtet man, dass die Grenzschicht und eventuell die Membrantheile selbst, je nach Maassgabe der wechselseitigen Affinitäten, Körper auch in relativ grösserer Menge werden aufnehmen können, als sie in der anstossenden Lösung vorhanden sind, dass aber dieses mit gewisser Concentration der Lösung sich sehr wohl umkehren kann, so wird das angedeutete Verhalten der Säuren nicht überraschen. Es wird auch leicht einzusehen sein, wie der angegebenen und auch noch anderer Umstände halber, der Concentrationsgrad, welcher gar keine Volumänderung hervorbringt, sich verschiebt und wie verschiedene Membranen ein ganz ungleiches Verhalten zeigen können, was schon Dutrochet für Thierblase gegenüber pflanzlichen Zellhäuten beobachtete. Beiläufig sei noch bemerkt, dass Lösungen von Oxalsäure und Weinsäure, von 1, resp. von $^1/_2$ Procent Gehalt, welche nach Dutrochet bei Anwendung thierischer Blase starke Volumverminderung erfahren würden, in Ferrocyankupfermembran einen ziemlich erheblichen Wasserstrom nach der Lösung der Säuren hin hervorriefen.

1) Moleschott's Untersuchungen l. c., p. 296 u. s. w.
2) Mémoir. p. servir à l'histoire u. s. w. 1837 (Brüssel) p. 35.
3) Philosoph. transactions 1854, Bd. 144. p. 225.

Digitized by Google

Bisher ist immer angenommen, dass in den, nicht unter Einfluss der von der Membran ausgehenden Molecularkräfte stehenden Capillarräumen Salz und Wasser nach gleichen Volumina ausgetauscht werden. Dieses, bei Diffussion in etwas weiteren Gefässen selbstverständlich, ist doch in engen Poren, welche zwei Flüssigkeiten miteinander verbinden, nicht nothwendig. Würden z. B., wie bei der allgemeinen Massenanziehung, die von zwei sich anziehenden Molecülen zurückgelegten Wege im umgekehrten Verhältniss zur Masse dieser stehen, so müsste, sobald die Dichte der Salz- und Wassermolecüle verschieden ist, das Volumen zu beiden Seiten einer Ebene sich ändern, was im Porus einen einseitigen Flüssigkeitsstrom mit sich bringen würde. Nun kann allerdings die allgemeine Massenanziehung nicht als für die factische Molecularbewegung allein massgebend angesehen werden, für die ja auch die lebendige Kraft der Molecüle selbst[1], und in unserem Falle noch besondere Umstände in Betracht kommen. Allein ich wollte hier nur darauf hinweisen, dass durch Capillarräume, welche die Salzlösung unverändert aufnehmen, dennoch ein, wenn auch wenig ausgiebiger, einseitiger Flüssigkeitsstrom möglich ist.

11. Abhängigkeit des osmotischen Wasserstromes von Membranbeschaffenheit und Concentration der Lösung.

Bevor auf messende Versuche eingegangen wird, ist es geboten, noch einige die Niederschlagsmembranen betreffende Verhältnisse zu erwähnen. Bei unseren Zellen muss nothwendig ein Theil der gesammten Fläche der Niederschlagsmembran gegen impermeable Thonmasse angepresst sein, so dass nur die über Poren der Thonzelle ausgespannten Membrantheile beiderseitig mit Flüssigkeit in Contact stehen, während die angepressten Partien der Membran für Diosmose nur untergeordnete Bedeutung haben, nämlich insofern, als sich Flüssigkeit in der Membran parallel der Fläche bewegt. Hinsichtlich der diosmotischen Wirkung kann also die aufgelagerte Membran nur einer allseitig freien Membran von geringerem Flächeninhalt gleich kommen, was übrigens der Brauchbarkeit unserer Zellen keinen Abbruch thut.

Diosmirende Körper haben, ausser der Niederschlagsmembran, in unseren Zellen auch immer die Thonzellen zu durchwandern, deren Permeabilität für Wasser und Salz gegenüber den Niederschlagsmem-

[1] Vermöge dieser tauschen sich bekanntlich Gasmengen durch enge Poren im umgekehrten Verhältniss zu den Quadratwurzeln aus ihrer Dichte aus.

Digitized by Google

branen so gross ist, dass sich der Einfluss der Thonzelle kaum bemerkbar machen kann. So filtrirten durch ein 100 Qu.-Ctm. grosses Stück einer Ferrocyankupfermembran unter einem Druck von 100 Ctm. Quecksilber im Verlaufe einer Stunde in keinem beobachteten Falle 0,04 Cub.-Ctm. Wasser, während für ein gleich grosses Flächenstück der Thonzelle unter gleichen Bedingungen eine Filtrationsmenge von 950 bis 1300 Cub.-Ctm. gefunden wurde. Doch wenn auch die kleinsten Poren der ungleich porösen Thonmasse wirklich einen hemmenden Einfluss geltend machen sollten, so würde dieses auf vergleichende Versuche (wenigstens wenn es sich um die Wirkung nicht diosmirender Stoffe handelt) keinen Einfluss haben, weil in engen Poren, wie auch in der Niederschlagsmembran selbst, die Widerstände proportional den Filtrationsmengen wachsen.

Auch im Vergleich zu Thierblase ist die Filtrationsmenge, welche eine doch unverhältnissmässig dünnere Ferrocyankupfermembran liefert, immer nur sehr gering. So berechnet sich aus Versuchen von W. Schmidt[1], wenn wir einen der geringsten Werthe und ausserdem die oben angenommenen Maasse zu Grunde legen, für Schweinsblase eine Filtrationsmenge von 8,87 Cub.-Ctm., welche für andere Stücke sogar um mehr als das 200fache höher gefunden wurde. Dem gegenüber ist die mit unseren Zellen unter gleichen Bedingungen beobachtete, 0,04 Cub.-Ctm. nicht erreichende Filtrationsmenge gering, und wird dieses auch sein, wenn wir statt der aufgelagerten eine allseitig freie Membran gleicher Fläche vergleichen. An einer solchen geht freilich die Filtration dem Anscheine nach wesentlich ausgiebiger vor sich, wie sich aus dem Zusammenfallen einer allseitig geschlossenen Ferrocyankupferzelle entnehmen lässt, wenn diese in eine Zuckerlösung von bekannter osmotischer Leistung gebracht wird.

Der osmotische Wasserstrom durch Niederschlagsmembranen ist natürlich proportional der Membranfläche, ebenso ist er aber auch der Triebkraft proportional, weil, wie Filtrationsversuche ergaben, die Widerstände in gleichem Verhältniss wie die Stromstärke wachsen. Es ist wohl auch nicht daran zu zweifeln, dass die einem Wasserstrom entgegenstehenden Widerstände proportional der Membrandicke sind.

1) Poggendorff's Annalen 1856, Bd. 99, p. 348. Durch ein kreisförmiges Membranstück von 6 Ctm. Durchmesser filtrirten unter einem Wasserdruck von 227 Ctm. 0,15 Grm. Wasser. — Der für ein anderes Stück in der gleichen Tabelle angeführte höchste Filtrationswerth ist 32,7 Grm. Wasser. — Die Berechnung geschah unter Annahme von Proportionalität zwischen Druck und Ausflussmenge, was für Thierblase nicht genau zutrifft, jedoch immerhin annähernde Werthe liefert.

Digitized by Google

Wie schon bekannt, verdickt sich die Membran bei Gegenwart der Membranogene und dadurch, wie zugleich wegen unvermeidlicher Verstopfung durch fremde Körper, nimmt die einer osmotischen Triebkraft oder einem entsprechenden Druck entsprechende Wasserbewegung ab. Um ein annähernderes Maass für die Verdickung durch die verminderte Wasserbewegung zu gewinnen, wurde eine Zelle mit aufgelagerter Ferrocyankupfermembran während 5 Wochen mit sorgfältigst filtrirten 3procentigen Lösungen der Membranogene vollkommen vor Staub geschützt aufbewahrt. Gleich nach Herstellung der Zelle, wie nach dieser Aufbewahrung wurde bei gleicher Temperatur (14,5° C.) der Wasserstrom gemessen, welchen eine 4procentige Zuckerlösung hervorrief. Dieser Einstrom entsprach im ersten Versuche einer Steigung von 9,6 Mm. pro Stunde im Messrohr (149,6 Cub.-Mm.) und war nach 5 Wochen auf 4,9 Mm. gesunken. Da in dem Experimente Verstopfung jedenfalls nur sehr untergeordnet sein konnte, so darf man annehmen, dass die Membran in der Zwischenzeit beinahe doppelte Dicke gewonnen hatte.

Frühere Erwägungen zeigten uns, wie die in der Diffusionszone entwickelte osmotische Triebkraft auf dieselben Kräfte zurückkommt, welche bei Hydrodiffusion das Ineinanderbewegen von Salz und Flüssigkeit bewirken (p. 51). Die Intensität dieses Diffusionsstromes würde demgemäss einen Schluss auf die osmotische Kraft eines Stoffes erlauben, wenn die Höhe und überhaupt die Constitution der Diffusionszone bekannt wäre. Seit Fick's Untersuchungen ist allgemein angenommen, dass, wenn die Diffusionsconstante (k) [1] — d. h. die Salzmenge,

---

[1] Bei Diffusion in Flüssigkeiten ist nicht nur die lebendige Kraft der Molecüle, sondern auch deren Anziehung unter einander massgebend. Wo letztere verschwindet, wie bei den Gasen, lässt sich, wie Loschmidt (Berichte d. Wiener Acad. 1870, 2. Abth.) zeigte, die Constante als eine Function der Molecülgeschwindigkeit ausdrücken. Es ist nämlich so genau als erwartet werden kann, $k = e\frac{u_1 u_2}{N}$, wo e einen constanten Factor, N die Molecülzahl in der Volumeneinheit, $u_1 u_2$ die resp. mittleren Geschwindigkeiten der beiden diffundirenden Gase bezeichnen. — Die allgemeine Regel, welche Sachsse (Chem. Centralblatt 1874, p. 237) aus den an sich zu wenig genauen Versuchen Graham's abzuleiten suchte, bei Flüssigkeitsdiffusion falle mit wachsendem Moleculargewicht die Anzahl der aus einer Salzlösung diffundirenden Molecüle, ist noch nicht geeignet einen tieferen Einblick in die wirkenden Molecularkräfte zu gestatten. — Namentlich darf man auch nicht vergessen, dass das in üblicher Weise abgeleitete Moleculargewicht, die in Lösung bestehenden Körpertheile nicht oder wenigstens nicht immer bestimmt. Man denke nur etwa an das lösliche Eisenoxydhydrat, welches als colloidaler Körper voraussichtlich durch Aggregation von Molecülen zu Tagmen entsteht.

Digitized by Google

welche in der Zeiteinheit durch die Flächeneinheit übergeht, wenn auf die Längeneinheit die Concentration um 1 abnimmt — bekannt ist, die diffundirende Salzmenge (s) ausgedrückt wird [1]) durch $s = k a \frac{e}{l} t$, wo e die Concentrationsabnahme auf der Strecke l, a die Fläche und t die Zeit bezeichnet; natürlich würde ebenso die nach entgegengesetzter Richtung strömende Wassermenge bestimmt sein, wenn k den Diffusionscoefficienten des Wassers angiebt. Die angenommene Proportionalität zwischen Concentrationsdifferenz $\left(\frac{e}{l}\right)$ und Diffusionsstrom kann aber, wie folgende Ueberlegung zeigen wird, nur innerhalb gewisser Grenzen richtig oder annähernd richtig sein.

Eine mit wachsender Molecülzahl proportionale Zunahme des Diffusionsstromes ist nur dann möglich, wenn alle neu hinzukommenden Molecüle gleiche Anziehungskräfte auf benachbarte Wassermolecüle ausüben. Das wird aber nicht der Fall sein, wenn mit weiterer Concentration eine gewisse Zahl von Molecülen seine Anziehungskraft zum Wasser nicht mehr in gleichem Maasse ausgleichen kann, also mit Bezug auf Wasser als ungesättigte Molecülverbindung in Lösung besteht, welche selbstverständlich auf in ihr Bereich kommende Wassermolecüle eine grössere Anziehungskraft ausübt. Dass dem in der That so ist, beweist, ausser anderen Argumenten, die Contraction, welche allgemein beim Mischen von Salzlösungen und Wasser eintritt und die, wie die Verdichtung beim directen Auflösen der Salze, keineswegs proportional der Anzahl gelöster Salzmolecüle sich ändert [2]). Sobald aber die Zahl ungesättigter Salzmolecüle schneller als die in Volumprocenten ausgedrückte Concentration wächst, muss der Diffusionsstrom, wie die treibenden Kräfte selbst, schneller zunehmen, als es die bisher angenommene Proportionalität verlangt, vorausgesetzt, dass nicht andere Ursachen, wie Viscosität der Flüssigkeit u. s. w., eine Compensation herbeiführen.

Für verdünnte Lösungen wird allerdings gewöhnlich Proportionalität zwischen Concentrations- und Diffusionsschnelligkeit, aber nach Obigem auch nur angenähert zutreffen und hierin, wie in den nicht zu grosse Genauigkeit gestattenden Versuchsmethoden mag es begründet

---

1) Vgl. z. B. Mousson, Physik II. Aufl., Bd. I, p. 282.

2) Naumann, Allgemeine Chemie 1875, p. 451, 480 etc. — Die ungleiche Färbung einer Kobaltchlorürlösung zeigt unmittelbar die Existenz ungleich constituirter Molecülverbindungen, resp. Molecüle in Lösung an. — Volumzunahme beim Lösen einiger Salze beruht auf besondern Umständen.

Digitized by Google

sein, dass eine Abweichung bisher nicht sicher gestellt wurde[1]). Bei der Osmose kann diese Abweichung aber besonders gross werden, weil die Concentrationsdifferenz in aneinander grenzenden Elementarschichten sehr gross sein und eventuell eine concentrirte Lösung unmittelbar an reines Wasser stossen kann.

Gleiche Constitution der Molecüle oder Tagmen in Lösungen vorausgesetzt, wird die die Diffusion treibende Kraft proportional der Molecülzahl in der Volumeinheit wachsen und dem entsprechend muss auch die Concentration mit Rücksicht auf Diffusion durch die zur Volumeinheit gelösten Salzmenge, d. h. durch Volumprocente ausgedrückt werden. Dieses ist z. B. von Voit geschehen, während u. a. Fick und Beilstein die Concentration durch Gewichtsprocente, Jolly durch den Quotienten aus lösendem Wasser in gelöstes Salz ausdrückten

Gehen wir nun zur Musterung der für verschiedene Concentration sich ergebenden osmotischen Wasserbewegung über. Die beiden folgenden Tabellen No. 1 und 2 geben zunächst eine Uebersicht der mit Zucker und Gummi in Membranen aus Ferrocyankupfer gewonnenen Resultate, welche aus den im Anhang mitgetheilten Versuchen (No. I u. II) abgeleitet sind, wie an diesem Orte im Näheren zu ersehen ist. Columne c zeigt die Concentration der angewandten Lösung in Gewichtsprocenten an, in e ist die relative osmotische Leistung, auf die Leistung der 1procentigen Lösung als Einheit bezogen, aufgeführt. Die Verticalreihe $\frac{e}{c}$ enthält die Quotienten aus Gewichtsprocenten in die entsprechenden, in e verzeichneten Wasserstromswerthe und durch Division dieser Quotienten mit dem specifischen Gewicht (s) der zugehörigen Lösung ist die Columne $\frac{e}{c.s}$ entstanden. Da das Product aus specifischem Gewicht und Gewichtsprocenten ($c.s$) Volumprocente ergibt, so entspricht $\frac{e}{c.s}$ dem Quotient aus Volumprocenten in die zugehörigen relativen osmotischen

1) Beilstein (Annal. d. Chem. u. d. Pharm. 1865, Bd. 99, p. 187) behauptet allerdings, es wachse die Diffusionsschnelligkeit rascher als die Concentrationsdifferenz aneinandergrenzender Schichten, allein ich kann, so wenig wie Voit (Poggendorff's Annal. 1867, Bd. 130, p. 234), diese Behauptung als durch die Versuche wirklich begründet ansehen. — Voit (l. c., p. 419) fand für Zucker den Diffusionscoefficient mit steigender Concentration zunehmend, meint jedoch dieses allein auf die in Folge des Diffusionsstromes zu geringen Sacharimeterangaben schieben zu können, bleibt aber den Nachweis schuldig, dass dieser Fehler thatsächlich die ganze und nicht blos einen Theil der Abweichung bedingt.

Digitized by Google

Leistungen, welche in Columne e verzeichnet sind. Für 1procentige Lösungen bleibt in diesem Falle der Quotient $\left(\frac{e}{c.s} = \frac{1}{1.004}\right) = 1$, wenn die zweite Decimale abgerundet wird.

Tabelle 1.

Versuche mit Rohrzucker.

c Concentration in Gew.-Proc.	e Mittelwerthe	$\frac{e}{c}$	$\frac{e}{c.s}$
1 Proc.	1	1	1
2 »	1,95	0,98	0,97
6 »	5,77	0,96	0,94
10 »	11,6	1,16	1,11
16 »	20,0	1,25	1,17
20 »	25,5	1,27	1,17
32 »	48,4	1,54	1,35

Tabelle 2.

Versuche mit arabischem Gummi.

c Concentration in Gew.-Proc.	e Mittelwerthe	$\frac{e}{c}$	$\frac{e}{c.s}$
1 Proc.	1	1	1
6 »	3,6	0,60	0,58
18 »	16,4	0,91	0,84

Der Wasserstrom ist, wie die Quotienten der Columnen $\frac{e}{c}$ und $\frac{e}{c.s}$ zeigen, weder den in der Gewichtseinheit, noch den in der Volumeinheit enthaltenen Salzmengen proportional. Bei Zucker nimmt bis zu 6 Procent der Wasserstrom langsamer zu, als die Concentration nach Gewichts- oder Volumprocenten, um weiterhin schneller als die Concentration zuzunehmen. Bei 10 Procent ist diese Steigerung schon zweifellos, welche indess wohl sicher nicht gleichmässig ist, sondern nur im Allgemeinen wird der Wasserstrom schneller als die Concentration wachsen. Eine weitere Beurtheilung gestatten die hier vorliegenden Versuche nicht; auf den für 16 und 20 Procent hinsichtlich der Volumprocente gleichen Quotienten kann, da dieser aus je einem Versuche abgeleitet ist, natürlich kein Gewicht gelegt werden.

Auf einen Beobachtungsfehler kann die, freilich für 6procentige Zuckerlösung nur geringe Abnahme der Quotienten $\frac{e}{c}$ und $\frac{e}{c.s}$ nicht geschoben werden, da das Resultat verschiedener Experimente immer in

Digitized by Google

gleichem Sinne ausfiel. Diese für Zucker nur geringe Abnahme ist aber höchst auffallend bei arabischem Gummi. Lösungen dieses von 1 und 6 Procent Gehalt zeigen, wie der Wasserstrom zunächst weit langsamer als die Concentration wächst, dann aber, wie es das mit 18 Procent gewonnene Resultat ergibt, mit höherer Concentration wieder, analog wie beim Zucker, zunimmt, jedoch selbst bei dieser hohen Concentration ist die Wasserbewegung noch nicht ganz so ausgiebig geworden, um das 18fache von der Leistung 1procentiger Lösungen auszumachen.

Das soeben namhaft gemachte Verhalten kann an sich nicht aus der Annahme erklärt werden, der in der Membran entgegenstehende Widerstand wachse in einem anderen Verhältniss als die Schnelligkeit der Wasserbewegung[1]) und zudem ergaben auch directe, noch mitzutheilende Versuche Proportionalität zwischen Druck und Ausflussmenge. Weiter können Gummi und Zucker, weil sie als nicht, oder so gut wie nicht diosmirende Körper nur mit der Membranoberfläche in Contact kommen, in keinem Falle derartig auf die Constitution in der Membran wirken, dass der Filtrationswiderstand in der Membran verändert wird. Gegen eine solche Annahme spricht auch das zufriedenstellend gleiche Verhältniss, welches unter sich Druckkräfte und Wasserstrom für dieselbe Concentration eines Stoffes ergaben. Dieses Ergebniss, sowie die früher namhaft gemachten Ueberlegungen, lassen auch eine in Betracht kommende Erweiterung der Diffusionszone durch den Wasserstrom nicht zu und auch die obigen Resultate selbst können aus solcher Annahme nicht abgeleitet werden.

In jedem Falle muss demnach die thatsächlich beobachtete Wasserbewegung nur aus der osmotischen Triebkraft erklärt werden, welche ja auch in einem anderen Verhältniss, als die Concentration zunehmen kann, weil sie zunächst von Constitution der Diffusionszone und der wasseranziehenden Kraft der gelösten Molecüle abhängt. Diese muss, wie vorhin erklärt ist, rascher wachsen, als die Concentration, wenn mit dieser in der Lösung die Anzahl Salztheilchen schneller zunimmt, welche ihre Affinität zum Wasser nur unvollkommen ausgleichen konnte, und für osmotische Wirkung kann dieser Umstand sehr bedeutungsvoll werden. Die Constitution der Diffusionszone wird sich mit der Concentration einer Lösung ändern und dass diese, aus den zwischen Wasser, Salz und Membran thätigen Molecularkräften, sowie aus der lebendigen

1) Zu einer solchen Annahme neigte Fick bezüglich der Collodiummembranen hin. (Moleschott's Unters. l. c., p. 325.)

Digitized by Google

Kraft der Molecüle resultirende Grösse sich immer derartig ändern sollte, wie es die Erzeugung einer der Concentration proportionalen Wasserbewegung fordern würde, ist durchaus unwahrscheinlich, um nicht zu sagen unmöglich.

In stark verdünnten Lösungen dürften die Molecüle einer weiter zugesetzten Salzmenge sich in wesentlich, wenn auch nicht ganz gleicher Weise mit Wasser vereinigen, wie es die schon vorhandenen Molecüle gethan hatten. Deshalb dürfte die anfangs langsamere, mit der Concentration nicht Schritt haltende Steigerung der Wasserbewegung, wohl in der specifischen Constitution der Diffusionszone ihre Erklärung finden, während bei der späteren Zunahme des osmotischen Wasserstroms die schneller als die Concentration fortschreitende Anhäufung der mit Wasser unvollkommen gesättigten Molecülen (oder Tagmen) eine wesentliche Rolle mitspielen mag. In welcher Weise nun freilich diese Factoren im Einzelnen und combinirt in Betracht kommen, wie endlich noch andere Verhältnisse mit eingreifen, muss dahin gestellt bleiben. Uebrigens würde es auch begreiflicherweise nicht zu verwundern sein, wenn bei gewissen Stoffen schon bei geringer Concentration ein Maximum der osmotischen Wasserbewegung beobachtet würde.

Falls ein Salz diosmirt, sind, ausser den schon namhaft gemachten, noch einige besondere Umstände zu beachten, welche die Diosmose mit sich bringt und die sich theilweise aus früheren Erörterungen (p. 55) ohne weiteres ergeben. Die nachstehende Tabelle 3 gibt eine Uebersicht über die in Ferrocyankupfermembran mit einem in immerhin erheblicher Menge diosmirenden Salze, mit Salpeter, gewonnenen Resultate.

Tabelle 3.

Versuche mit Salpeter.

(Belege Nr. III.)

c Concentration in Gew.-Proc.	e Mittelwerthe	$\frac{e}{c}$	$\frac{e}{c.\,s}$
1 Proc.	1	1	0,99
2 »	1,79	0,89	0,88
4 »	3,41	0,85	0,83
8 »	6,46	0,81	0,77
18 »	11,69	0,66	0,59

Ein ähnliches Resultat ergab ein Versuch mit dem nur wenig diosmirenden Kalisulfat. Bei Vergleich 1procentiger und 4procentiger

Digitized by Google

Lösungen wurde für letztere der Quotient $\frac{e}{c}$ zu 0,83 gefunden, wenn der gleiche Quotient für 1procentige Lösung = 1 gesetzt wird. (Siehe Nr. IV.)

Die in obiger Tabelle 3 stetig abnehmenden Quotienten $\frac{e}{c}$ und $\frac{e}{c.s}$ zeigen, wie die Wasserbewegung langsamer als die Concentration zunimmt und zwar, soweit die Versuche ein Urtheil gestatten, dauernd für Lösungen, deren Concentration zwischen 1 und 18 Procent liegt. Eine einfache Beziehung zwischen Concentration und Wasserbewegung ist auch hier, wie zu erwarten war, nicht zu finden [1], wie denn auch mit Collodiumhäuten und anderen Membranen angestellte Versuche eine solche nicht geliefert haben [2].

12. Osmotischer Wasserstrom durch Lösungsgemische.

In jüngster Zeit hat Marignac [3] Untersuchungen über Diffusion von Gemischen sich nicht zersetzender Salze angestellt, nach denen die Diffusionsschnelligkeit der Salze in gemischten Lösungen keine sehr erhebliche Aenderung erfährt. Zu diesem allgemeinen Resultate war auch bereits Graham gelangt, welcher selbst die Diffusion von Krystalloiden durch zähflüssige Colloide nur wenig verlangsamt fand [4]. Hiernach muss es wahrscheinlich scheinen, dass die osmotische Wirkung von Salzgemischen und die Summe der Einzelleistungen von Salzen nicht viel differiren.

---

1) Von der Voraussetzung ausgehend, die Grenzschicht bewahre für verschieden concentrirte Lösungen eine gleiche Zusammensetzung, was freilich sicher nicht zutrifft, könnte man auf den Gedanken kommen, dass die Grenzschicht einen constanten Wasserstrom (c) liefere. Dann, wenn sie an concentrirtere Lösung stösst, müsste hier eine Diffusionszone entstehen und die Wasserbewegung würde ausgedrückt werden, durch $w = c + u.n$, wenn die Leistung der fraglichen Diffusionszone der Concentration proportional zunähme. Man kann dann aus zwei Gleichungen die beiden unbekannten c und u bestimmen. Indess treffen die hier gemachten Voraussetzungen nicht zu, und deshalb fallen auch die beiden fraglichen Grössen ungleich aus, wenn sie aus der Leistung je zweier verschieden concentrirter Lösungen abgeleitet werden.

2) Siehe namentlich Fick in Moleschott's Untersuchungen l. c., p. 322.

3) Annal. d. chim. et d. physique 1874, V. ser., Bd. II, p. 546 ff. — Die Diffusion des diffusibelsten Salzes ändert sich am wenigsten, zuweilen ist eine kleine Vermehrung, öfters eine gewisse Verminderung zu erkennen, welche letztere aber stets geringer ist als für das weniger diffusible Salz.

4) Graham, Annal. d. Chem. u. Pharm. 1862, Bd. 121, p. 30. — Siehe auch ebend. 1851, Bd. 77, p. 75.

Digitized by Google

Die Lösung der eben erwähnten Frage hatte ich mir nicht als Aufgabe gestellt, und so habe ich denn auch mit zwei verschiedenen Ferrocyankupfermembranen nur je einen Versuch mit demselben Materiale, nämlich mit arabischem Gummi und mit Salpeter, sowie mit einem Gemenge beider angestellt. Die osmotische Leistung dieser Stoffe ist, wie die folgende Tabelle 4 zeigt, im Gemenge jedenfalls nahezu dieselbe, wie in reinen wässrigen Lösungen.

Tabelle 4.

Concentration in Gew.-Proc.	1. Versuch Mm. p. Stunde	2. Versuch Mm. p. Stunde
1 Proc. Salpeter	6,08 Mm.	5,4 Mm.
15 Proc. Gummi	2,06 »	1,8 »
1 Proc. Salpeter + 15 Proc. Gummi	7,9 »	7,0 »
1 Proc. Salpeter	6,06 »	5,3 »

Die mit Mm. überschriebenen Columnen geben die Erhebung der Flüssigkeit im Messrohr in Mm. an. Die Temperatur war bei Versuch 1 = 17,1°C., bei Versuch 2 = 15,8°C. — Die Gummilösung wurde in diesem Falle aus einfach lufttrockner Waare dargestellt. — Die Lösungen enthielten keine Membranogene.

Mit vorstehenden Resultaten nicht im Einklang stehen Angaben Baranetzky's[1]), nach welchen geringe Beimischung von Colloiden, resp. Krystalloiden zu den Lösungen krystalloider, resp. colloidaler Körper eine sehr erhebliche Steigerung des Wasserstromes bewirken soll. Diese Angabe bezieht sich freilich auf andere Membranen (Pergamentpapier, Cellulose u. s. w.), für welche Baranetzky die osmotische Wirkung des Gemenges (bezüglich der einseitigen Volumzunahme) selbst um das dreifache höher, als die Summe der Einzelleistungen der gelösten Körper angibt. Allein auch für Pergamentpapier trifft Baranetzky's Behauptung nicht zu und hiernach, sowie auf Grund anderer Beobachtungen Baranetzky's ist soviel gewiss, dass dessen Methode[2]) mindestens geringe Genauigkeit geboten haben muss.

Es soll nämlich eine 2 Proc. Arabin und ebenso eine 0,4 Proc. von gewissen krystalloiden Salzen enthaltende Lösung keine osmotische Volumzunahme zu Wege bringen, eine Angabe, welche auch für Pergamentpapier und Salpeter gemacht wird. Dagegen konnte ich mit leichter Mühe einen einseitigen Wasserstrom für 0,4 und 0,2procentige Salpeterlösung constatiren, welcher bei einer wirksamen Pergamentpapier-

1) Poggendorff's Annalen 1872, Bd. 147, p. 234 ff.
2) Ueber diese vgl. die citirte Arbeit p. 216.

Digitized by Google

fläche von 5,3 Qu.-Ctm. und bei Anwendung 0,4procentiger Salpeterlösung in meinem Messrohre eine Erhebung von 7,2 Mm. im Laufe von 8 Stunden hervorbrachte. Diese Erhebung war für 2procentige Lösung von Gummi arabicum noch etwas ansehnlicher, betrug nämlich 1,2 Mm. in der Stunde [1]).

Freilich hat Baranetzky mit Arabin gearbeitet, dessen osmotische Leistung zwar schwächer sein dürfte, als die des noch Salze enthaltenden Gummi arabicum, jedoch durchaus nicht Null sein kann, weil es sich um einen so gut wie nicht diosmirenden Körper handelt und jede einseitige Trieb- und Druckkraft Wasserbewegung durch Pergamentpapier veranlasst. Bei diosmirenden Körpern ist freilich sogar Volumabnahme möglich (siehe p. 58), doch ergibt das Experiment selbst für verdünnte Salpeterlösung entschiedene Volumzunahme an. Da ich mit zwei ganz verschiedenen Sorten Pergamentpapier ein gleichsinniges Resultat erhielt, so wird man den nicht entsprechenden Befund von Seiten Baranetzky's nicht in der Qualität des Materiales zu suchen haben.

Nach obiger Kritik ist man unbedingt genöthigt, überall da, wo es sich um nicht erheblich grosse Volumänderungen handelt, Baranetzky's Messungen als unzureichend anzusehen und ich halte es nicht geboten noch im Einzelnen alle Angaben kritisch zu durchmustern. Nur auf einen Punkt will ich noch eingehen, dass nämlich ein geringer Zusatz von Colloiden zu Lösungen von Krystalloiden (und umgekehrt) eine erhebliche Steigerung der osmotischen Leistung bewirken soll. Ich habe hier die Leistungen von Chlorcalcium (1,5 Procent) und Gummi arabicum (2 Procent) in Pergamentpapier vergleichend untersucht und das in Tab. 5 verzeichnete Resultat erhalten.

Tabelle 5.

Concentration in Gew.-Procenten.	1. Versuch Mm. p. Stund	2. Versuch Mm. p. Stunde
1,5 Proc. Chlorcalcium	9,9 Mm.	10,3 Mm.
2 Proc. Gummi arabicum	1,2 »	1,3 »
1,5 Proc. CaCl. + 2 Proc. Gummi arabicum.	11,4 »	11,3 »

1) Der angewandte Apparat bestand aus einem Glasrohr, dessen eines Ende mit der Membran verschlossen war, während das andere verjüngte Ende zur Aufnahme des Messrohres diente (siehe p. 13). Es wurde hier immer so eingestellt, dass ein geringer Ueberdruck im Innern der Zelle bestand, um gleich anfangs die Membran etwas zu spannen. Da der Druck im Innern mit dem Einstrom zunahm und geringer Druck schon erheblichere Filtration durch Pergamentpapier veranlasst, so können die für den osmotischen Einstrom gewonnenen Werthe nicht sehr genau, aber nur zu gering ausgefallen sein.

Digitized by Google

Die Versuche sind mit verschiedenen Sorten Pergamentpapier angestellt, deren Fläche je 5,3 Qu.-Ctm. betrug. Die in Mm. ausgedrückten Werthe (vgl. Tabelle 4) sind p. Stunde berechnet; für G. arabic. wurde die Beobachtungszeit auf 5 Stunden ausgedehnt. Temperatur während des Versuches 17,4°C. Die Pfeile deuten die Reihenfolge an, in welcher die Versuche angestellt wurden.

Die vorstehenden Zahlen zeigen so genau, als man es nur erwarten kann, gleiche Leistung der Componenten im isolirten, wie im gemengten Zustande an. Mit obigen Stoffen, und bei gleicher Concentration dieser, hat auch Baranetzky (l. c. p. 239) einen Versuch in Pergamentpapier angestellt, nur war das mir nicht gerade zu Gebote stehende Arabin statt Gummi arabicum genommen. Als Volumzunahme innerhalb 24 Stunden gibt unser Autor für Chlorcalcium 0,5 Cub.-Ctm., für die gemischte Lösung 0,9 Cub.-Ctm. an, während Arabin als nichts leistend angesehen wird, eine freilich unbedingt unrichtige Annahme. Ob Anwendung von Arabin zu anderem Resultate führen würde, als ich es mit Gummi arabicum erhielt, ist in diesem Falle höchst unwahrscheinlich, lässt sich aber nicht ohne weiteres unbedingt entscheiden, weil ja in gewissen Fällen chemische Vorgänge solchergestalt denkbar sind, dass die Umsetzungsproducte mehr als ihre Componenten leisten. Greift aber eine chemische Umsetzung oder Vereinigung ein, dann sind selbstverständlich die osmotischen Leistungen der Componenten und der aus diesen hervorgehenden Producte nicht in unserem Sinne vergleichbar. Für einfache Mischungen aber ist Baranetzky's Behauptung, die osmotische Leistung von Krystalloiden werde durch geringen Zusatz von Colloiden erheblich gesteigert, jedenfalls unrichtig und ebenso auch die umgekehrte Annahme, dass geringe Menge von Krystalloiden die osmotische Wirkung colloidaler Körper in hohem Maasse erhöhen könne. Zwei Versuche, die ich in dieser Richtung für Gummi arabicum und Salpeter angestellt habe, fielen ganz in dem gleichen Sinne, wie die in Tabelle 5 mitgetheilten Experimente aus und glaube ich deshalb auf die specielle Mittheilung dieser Versuche verzichten zu dürfen.

13. Filtration unter Druck.

Die folgende Tabelle 6 ist aus Versuchen abgeleitet, welche mit zwei verschiedenen Zellen ausgeführt wurden, um für Ferrocyankupfermembranen das Verhältniss zwischen Druckhöhe und Filtrationsmenge zu ermitteln. Indem ich bezüglich der methodischen Ausführung auf einen früheren Abschnitt (3), hinsichtlich der Belege und der Ableitung dieser Tabelle auf den Anhang verweise, bemerke ich hier nur, dass in

Digitized by Google

der ersten Columne (*d*) die Höhe der wirksamen Quecksilbersäule in Ctm. verzeichnet ist, während die Columne *m* die auf eine commensurable Einheit bezogenen Quotienten aus Druckhöhe in Filtrationsmenge enthält. Diese Quotienten zeigen, wie aus den speciellen Belegen Nr. VI) ersehen werden kann, keine grösseren Differenzen als sie unvermeidliche Fehler mit sich bringen können und zudem fallen ja auch die Abweichungen gleichmässig nach beiden Seiten. Die damit erwiesene Proportionalität zwischen Druckhöhe und Filtrationsschnelligkeit auch über die Beobachtungsgrenzen auszudehnen, dürfte wohl ruhig erlaubt sein. Namentlich hebe ich noch hervor, dass es, wie ja auch zu erwarten ist, keine Grenze des Filtrationswiderstandes gibt, d. h. dass jeder Ueberdruck Filtration nach der Seite geringeren Widerstandes bewirkt. Freilich ist die Filtrationsmenge durch geringen Druck sehr gering und um den Gleichgewichtszustand in nicht allzu langer Zeit herbeiführen zu können, ist es geboten, ein Druckrohr anzuwenden, dessen Durchmesser nur Bruchtheile eines Millimeters beträgt.

Tabelle 6.

d Mitteldruck. Ctm. Hg.	*m* Quotient
210,2	1,023
208,0	0,978
112,2	0,992
111,5	1,009
85,1	1,033
71,3	0,982
37,8	1,000

Proportionalität zwischen Ausflussmenge und Druckhöhe gilt, wie namentlich von Poiseulle nachgewiesen wurde, auch für enge Capillarröhren. Bei messbarer Weite dieser ist aber die Grenzschicht immer nur ein verschwindender Bruchtheil des gesammten Durchmessers, während frühere Erwägungen (p. 44) uns zeigten, dass in den Niederschlagsmembranen, auch wenn die Wirkungssphäre der Tagmen sich nicht über das gesammte Areal der intertagmatischen Räume erstrecken sollte, doch kein Wassermolecül passiren wird, ohne in den Bereich der Wirkungssphäre der Membrantheilchen zu gelangen. Deshalb kann aber auch Toricelli's Theorem, welches freie Beweglichkeit der Flüssigkeitstheilchen voraussetzt und auf wesentlich gleiche Principien wie freier Fall eines Körpers in nicht widerstehendem Medium gegründet ist, trotz der geringen Dicke der Niederschlagsmembranen nicht

Digitized by Google

mit eingreifen, während, wie Poiseulle[1]) nachwies, Capillarröhren unterhalb gewisser, mit dem Radius schnell abnehmender Länge, der Proportionalität zwischen Druck und Ausflussmenge nicht mehr genügen. Ein Blick auf folgende von O. E. Meyer[2]) für die Ausflusszeiten (t) aufgestellte allgemeine Formel kann hier sogleich über den causalen Zusammenhang Aufschluss geben; es ist:

$$t = V\left\{\frac{1}{R^2.\pi.k\sqrt{2gh}} + \frac{8\eta\lambda}{R^4.\pi.\varrho.g.h}\right\}$$

wo V das Flüssigkeitsvolumen, λ die Röhrenlänge, R den Radius, h die Druckhöhe, ϱ Dichte der Flüssigkeit, η einen Reibungscoefficienten, k einen empirischen Contractionsfactor bedeuten, g und π ihre übliche Bedeutung haben. Es ist sofort ersichtlich, wie auch für engere Röhren bei minimaler Länge die Ausflussmenge sich dem Toricelli'schen Theorem, bei grösserer Länge dem Poiseulle'schen Gesetz nähert.

Für thierische Häute wurde von Wilibald Schmidt[3]) für Druckhöhe und Filtrationsmenge zwar annähernde, doch nicht vollkommen genaue Proportionalität beobachtet. Ob sich hier schon der erste Factor obiger Formel wegen der grösseren capillaren Räume geltend macht oder ob auch die Dehnung der Membran durch Erweiterung der Capillarräume mitwirkt, lasse ich dahin gestellt.

Die von Poiseulle für die Ausflussmenge (Q) aus Capillarröhren aufgestellte bekannte Formel $Q = \frac{C.H.D^4}{L}$ (H = Druckhöhe; D = Durchmesser; L = Länge der Röhre) kann für Filtration durch einen Porus in der Niederschlagsmembran nicht ohne weiteres massgebend sein, da hier C nicht ein bei gleicher Temperatur für dieselbe Flüssigkeit constanter Factor ist, sondern mit den zwischen Flüssigkeit und Membrantheilchen wirkenden Molecularkräften, sowie mit der Weite der Interstitien in nicht bestimmbarer Weise sich ändern muss.

Ueber den Einfluss der Temperatur auf die Filtration durch Niederschlagsmembranen soll erst weiterhin gesprochen werden.

14. Osmotische Druckhöhe.

In einer geschlossenen Zelle ist die osmotische Druckhöhe, gemäss unserer früheren Definition (p. 14) dann erreicht, wenn in der Zeit-

---

1) Annal. d. chim. et d. physique III ser., Bd. VII, p. 50.

2) Poggendorff's Annalen 1874, Bd. 153, p. 619.

3) Poggendorff's Annalen 1856, Bd. 99, p. 367.

Digitized by Google

einheit sich gleiche Flüssigkeitsmengen nach innen und aussen bewegen. Die osmotische Triebkraft, welche ein nicht diosmirender Stoff auf der Innenfläche der Membran entwickelt, zieht die Wassertheilchen auf gleichen Wegen in das Innere der Zelle, auf welchen sie durch Druck nach aussen filtriren; die Bahnen, wie auch die Widerstände sind für Einstrom und Ausstrom vollkommen dieselben. Anders aber, wenn ein gelöster Körper die Membran nicht zu passiren vermag. Hier wird der diosmotische Austausch in einem Porus für eine einseitig überwiegende Wasserbewegung ganz bedeutungslos sein können, wenn sich Salz und Wasser nach gleichen Volumina austauschen, während Druck durch eben diesen Capillarraum Flüssigkeit nach aussen treibt (siehe p. 55). Der Gleichgewichtszustand zwischen Einstrom und Ausstrom muss dann nothwendig schon bei geringerem Drucke eintreten, als in einer Membran, welche denselben Stoff nicht diosmiren lässt. Ist letzteres der Fall, so ist das Maximum der osmotischen Druckhöhe erreicht, welche für denselben Körper stetig um so mehr abnimmt, je mehr mit Erweiterung der Zwischenräume in einer aus gleichwerthigem Materiale gebauten Membran die Diosmose des fraglichen Körpers zunimmt.

Wenn in der variablen Grenzschicht verdünntere Lösung besteht, so ist, wie frühere Erwägungen darthun, der Wasserstrom in dieser Zone nicht durch die Concentration des Zellinhaltes, sondern durch die in der Diffusionszone zwischen Zellinhalt und Grenzschicht, nach Massgabe der Concentrationsdifferenz entwickelten osmotischen Triebkraft bedingt.

Von zwei gelösten Körpern wird in derselben Membran der eine, falls er nicht diosmirt, seine maximale osmotische Druckhöhe zu Stande bringen, während diese von einem anderen die Membran durchdringenden Körper um so weniger erreicht wird, je ansehnlicher dieser diosmirt. Das zeigt nun sogleich sehr schlagend die folgende Tabelle, welche die Leistung 6procentiger Lösungen in Membranen aus Pergamentpapier, Thierblase und Ferrocyankupfer angibt. Der Druck ist hier, wie in allen folgenden Angaben, immer durch die Höhe einer nach Ctm. gemessenen Quecksilbersäule ausgedrückt. (Näheres über Ausführung der Versuche mit Pergamentpapier und Thierblase Belege Nr. VIII.)

Tabelle 7.

	Pergament-papier	Thierblase	$Cu^2Fe\,Cy^6$
Gummi arabicum	17,9 Ctm.	13,2 Ctm.	25,9 Ctm.
Flüssiger Leim	21,3 »	15,4 »	23,7 »
Rohrzucker	29,0 »	14,5 »	287,7 »
Salpeter	20,4 »	8,9 »	? (700) »

Digitized by Google

Der für Salpeter angegebene Werth (700) ist nicht direct bestimmt, dürfte übrigens nach Versuchen mit Lösungen anderer Concentration eher höher sein.

Man sieht hier sogleich, wie die Krystalloide (Zucker und Salpeter) bei gleicher Concentration in einer Membran aus Ferrocyankupfer unverhältnissmässig höheren osmotischen Druck erzeugen, als Colloide, deren Leistung aber in Thierblase und Pergamentpapier sich den Leistungen derselben Stoffe in der Ferrocyankupfermembran nähert, während in dieser die Druckhöhe für Zucker und Salpeter um das 10 und 35fache höher ausfällt. Der Grund liegt eben darin, dass die Colloide bekanntlich durch Pergamentpapier und Thierblase nur wenig, die Krystalloide dagegen sehr leicht diosmiren. So ergibt sich, dass in dem oben mitgetheilten Versuch durch Pergamentpapier im Laufe von 3 Stunden durch dieselbe Membran von 5,3 Qu.-Ctm. Fläche annähernd diosmirt waren: von flüssigem Leim 0,007 Grm. und ein wenig mehr von Gummi, während in gleicher Zeit etwa 0,14 Grm. Zucker und 0,55 Grm. Salpeter die Membran passirten. Uebrigens diosmirt Salpeter auch durch die Ferrocyankupfermembran in merklicher Weise und bringt demgemäss seine maximale osmotische Leistung in dieser nicht zu Stande.

Der dargelegte nothwendige Zusammenhang zwischen osmotischer Druckhöhe und Diosmose wird durch obige Versuche allerdings schlagend erwiesen, doch geben die gewonnenen Werthe kein relatives Maass hinsichtlich der Porenweite in den verschiedenen Membranen ab, da ja auch die Qualität des Membranmateriales für osmotische Leistung in Betracht kommt. Indess kann es doch auch kaum zweifelhaft sein, dass die angewandte Thierblase weitere Poren als das Pergamentpapier besass; die durchgehends in Thierblase geringere osmotische Druckhöhe und die verhältnissmässig starke Verminderung dieser für Zucker und Salpeter finden so ihre natürliche Erklärung.

Die geringe osmotische Druckhöhe, welche Colloide in Ferrocyankupfermembran bewirken, zeigt auch die nachfolgende Tabelle 8, in welcher die Columne *O* diejenigen Druckhöhen angibt, welche die einprocentigen Lösungen der am Kopf der Horizontalreihen stehenden Körper hervorbrachten. Ausserdem wurde noch ein Versuch angestellt mit einer 2procentigen Lösung aus Conglutin[1], welches durch möglichst wenig Kali aufgelöst worden war. Es ergab sich hier in Calciumphosphatmembran eine Druckhöhe von 3,8 Ctm., wäkrend 36,1 Ctm.

1) Es war dieses von Ritthausen aus Lupinen dargestelltes Conglutin.

Digitized by Google

die Leistung einer 1procentigen Rohrzuckerlösung in derselben Membran war.

Vergleichende Messungen über osmotische Druckhöhen sind eigentlich nur von Dutrochet in Thierblase mit Gelatine, Zucker, Gummi und dem noch salzführenden Hühnereiweiss angestellt worden, welche keineswegs auf eine bevorzugte Leistung der Colloide hinweisen [1]), sondern für die commensurablen Stoffe, Gummi und Zucker, ähnliche Resultate ergaben, wie sie in unserer Tabelle 7 für Pergamentpapier verzeichnet sind. Einfache Messung der Intensität des Wasserstromes, welche Baranetzky für Colloide ausführte, erlaubt natürlich nicht ohne weiteres einen Schluss auf die osmotische Druckhöhe und wo diese mit Colloiden bestimmt wurde, fehlen vergleichende Versuche mit krystalloiden Körpern [2]). Alle diese Versuche wurden mit Thierblase, Pergamentpapier oder sich ähnlich verhaltendem Materiale ausgeführt und sind deshalb nicht im Stande ein Bild von der osmotischen Leistung des Inhaltes einer Pflanzenzelle zu geben, da diese Leistung nicht, wie bisher angenommen, von der Zellhaut abhängt, sondern durch die, wie eine Niederschlagsmembran wirkende Plasmamembran bedingt ist.

Tabelle 8.

Einprocentige Lösungen aus:	O Druckhöhe	Zucker = 1	Einstrom Zucker = 1
Rohrzucker	47,1 Ctm.	1	1
Arab. Gummi	6,5 »	0,138	0,14
Dextrin	16,6 »	0,352	
Salpeter	175,8 »	3,733	4,61
Kalisulfat	192,3 »	4,083	4,39

Alle Angaben beziehen sich auf Lösungen, welche 1 Gew.-Proc. der genannten Stoffe enthielten. In der ersten Columne sind die Mittelwerthe gemessener Druckhöhen, in der zweiten deren Relation, wenn die Wirkung des Zuckers = 1 gesetzt wird, verzeichnet. Dieselbe Relation für Ausgiebigkeit des Wassereinstromes ohne Druck ist in der letzten Verticalreihe aufgeführt. Der Werth für arabisches Gummi ist aus Versuchsreihe Nr. VIII der Belege abgeleitet und hiernach = 47,1. 0,138. Die übrigen Versuche sind unter Nr. IX in den Belegen mitgetheilt.

Ein Vergleich der auf die Wirkung des Zuckers als Einheit bezogenen relativen Leistungen, mit der von derselben Lösung erzeugten Wasserbewegung zeigt, wie für Zucker und Gummi sowohl die Druckhöhe, als auch die Wasserbewegung in fast gleichem Verhältniss stehen, was übrigens, da diese Stoffe nicht diosmiren, auch erwartet werden

1) Siehe diese Abhandlung p. 53.
2) Vergl. z. B. Hofmeister, Flora 1858, p. 11.

Digitized by Google

durfte. Dagegen diosmirt Kalisulfat in geringerer, Salpeter in erheblicherer Menge durch Ferrocyankupfermembran. In beiden Fällen, bei Salpeter aber in höherem Maasse, stehen der Filtration nach aussen gewisse Wege uneingeschränkt offen, welche, eben weil Salzlösung darin besteht, für den nach innen gerichteten osmotischen Wasserstrom nicht so vollkommen ausgenutzt werden, als wenn das Salz nicht diosmirte. So erklärt es sich, warum für den leichter diosmirenden Salpeter der osmotische Wassereinstrom zwar relativ stärker als für Kalisulfat ist und dennoch bei jenem der endliche Gleichgewichtszustand schon bei geringerem Drucke erreicht wird, als bei schwefelsaurem Kalium. Das gleiche Verhältniss von Druckhöhe und Wassereinstrom bei den nicht diosmirenden Stoffen Gummi und Zucker zeigt, wie es auch schon direct bewiesen wurde, dass die Filtrationsmenge proportional dem Drucke zunimmt.

Aus gleichen Gründen wie beim osmotischen Wasserstrom kann auch eine einfache Beziehung zwischen Diffusionsschnelligkeit eines Stoffes und der durch diesen erzeugten Druckhöhe nicht erwartet werden, und dieses um so weniger, als ja bei eventueller Diosmose eines Körpers noch besondere Umstände in Betracht kommen. Nur ganz im allgemeinen werden schnell diffundirende Körper auch hohe Druckkräfte in Niederschlagsmembranen hervorbringen, die Krystalloide also mehr als die Colloide leisten. Die schon mitgetheilten Zahlen reichen vollkommen aus, um dieses zu beweisen, was einige weniger genaue Versuche mit anderen Stoffen einfach bestätigten. So ergab eine ungefähr 0,3 Procent wasserfreien Natriumsulfates enthaltende Lösung in Membran aus Ferrocyankupfer die auffallend ansehnliche Druckhöhe von 97 Ctm., obgleich die Diffusionsconstante [1]) (0,527) geringer, als die des schwefelsauren Kaliums (0,703) ist. Ebenso wurde in gleicher Membran die osmotische Druckkraft für eine nicht ganz 0,3 Procent Ammoniumacetat enthaltende Lösung auffallend hoch, nämlich zu 87 Ctm. gefunden. Dieses Salz diosmirte dabei in erheblicher Menge, gehört aber auch zu den schnell diffundirenden Körpern.

Kommen wir nun nochmals auf die Beziehung zurück, welche zwischen der Weite der in der Membran vorhandenen Zwischenräume und der Druckhöhe, resp. zwischen dieser und der Diosmose eines Körpers besteht. Die osmotische Triebkraft, welche ein gelöster Stoff hervorbringt, muss (ceteris paribus), so lange dieser Körper nicht diosmirt,

1) Voit, Poggendorff's Annal. 1867, Bd. 130, p. 233.

Digitized by Google

dieselbe bleiben, auch wenn die Grösse der Membranzwischenräume sich ändert. Freilich nimmt die Ausgiebigkeit der Wasserbewegung mit Erweiterung dieser Zwischenräume zu, aber für Einstrom und Ausstrom, welche ja ganz gleiche Widerstände zu überwinden haben, in demselben Verhältniss [1]), so dass die Druckhöhe dabei constant bleibt, und das Maximum dieser für einen gegebenen Stoff dann erreicht ist, wenn die Interstitien in einer Membran auf die specifische Weite zurückgingen, welche fernere Diosmose nicht mehr gestattet.

Leider steht kein Mittel zu Gebote, um die Zwischenräume in derselben Membran beliebig variiren lassen zu können und bei den geringen Dimensionsänderungen, welche Temperaturschwankungen ermöglichen, können stets auch andere, für die osmotische Triebkraft bedeutungsvolle Verhältnisse geändert werden. Immerhin ist es interessant, dass die Druckhöhe, welche nicht diosmirende Stoffe, wie Zucker und Gummi, in Ferrocyankupfermembran erzeugten, bei einer Temperatursteigerung von mehr als 20° C. nur um ein ganz geringes erhöht wurde, wie dieses weiterhin mitgetheilt werden soll. Auch die fast gleiche osmotische Leistung, welche flüssiger Leim in Membranen aus Ferrocyankupfer und Pergamentpapier hervorbrachte (Tab. 7), findet ihre Erklärung darin, dass die übrigens relativ viel grösseren Zwischenräume in der letztgenannten Membran, derjenigen Grenze genähert sind, unterhalb welcher flüssiger Leim nicht mehr diosmirt. Nur unterhalb dieser specifischen Grenze (alles übrige constant gedacht) nimmt mit steigender Filtrationsschnelligkeit die osmotische Leistung desselben Stoffes ab. Oberhalb dieser specifischen Grenze ist aber die Druckhöhe constant und wird, falls die anderen mitspielenden Factoren einmal in Rechnung gezogen werden können, ein Maass für die zwischen gelösten Salztheilen und Wasser wirkenden Molecularkräfte zu geben vermögen, deren Energie bei krystalloiden Stoffen sehr bedeutend sein muss, wie dieses die von sehr verdünnten Lösungen erzeugten hohen Druckkräfte anzeigen. Die trotzdem nur mässig schnelle Hydrodiffusion dieser Körper findet in analogen Verhältnissen ihre Erklärung, wie sie von

---

1) Es wäre denkbar, dass Saugkraft und Druckkraft gleicher Intensität nicht gleiche Wasserbewegung zu erzeugen vermöchten. Wird Wasser durch ein Rohr gesogen, so kann die Stromschnelligkeit, ohne zur Zerreissung des Fadens zu führen, ein von den obwaltenden Verhältnissen abhängiges Maass nicht überschreiten. Bei diesem Maasse kommt auch die Cohäsion in Betracht, welche mit der Verdichtung des Wassers in der Grenzschicht variirt. Indess scheint nach dem noch Mitzutheilenden etwas derartiges keine Rolle bei der Druckhöhe zu spielen, mit deren Erreichung sich ja auch die beiden entgegengesetzten Wasserbewegungen aufheben.

Digitized by Google

Clausius[1]) mit Rücksicht auf Diffusion und Wärmeleitung von Gasen dargelegt wurden.

Bei nicht diosmirenden Körpern kann die Membrandicke, wie aus dem oben Mitgetheilten ohne weiteres hervorgeht, nur auf die Schnelligkeit der Wasserbewegung, nicht aber auf die Druckhöhe Einfluss haben. Dieses würde auch dann noch zutreffen, wenn, was sehr unwahrscheinlich ist, der Wasserstrom sich nicht proportional der Membrandicke änderte. Die Druckhöhe gibt also ein osmotisches Maass ab, welches unabhängig ist von Dicke und Flächengrösse der Membran, sowie von der Zahl der auf die Flächeneinheit fallenden wirksamen Molecularzwischenräume, endlich auch von den Dimensionen dieser, so lange der wirkende Stoff nicht diosmirt. Trifft dieses nicht zu, dann sinkt mit fortschreitender Erweiterung der Membranzwischenräume die Druckhöhe, welche aber von den anderen Grössen unabhängig bleibt, indess von der Dicke der Membran dann beeinflusst werden kann, wenn bei der capillaren Diffusion innerhalb eines Porus Salz und Wasser sich nicht nach gleichen Volumina austauschen. Dabei ist natürlich vorausgesetzt, dass die diosmotischen Eigenschaften der Membran nicht etwa durch den gelösten Körper verändert werden.

An dieser Stelle dürfte es auch geboten sein, obgleich ich keine derartigen Versuche anstellte, doch auf den Einfluss hinzuweisen, welchen Druck auf die Ausgiebigkeit der Diosmose eines Körpers ausüben kann. Gesetzt, es bestehen in einer Membran capillare Räume, in welchen sich, wenn einseitiger Druck nicht vorhanden ist, Salz und Wasser nach gleichen Volumina austauschen, so wird mit dem osmotisch steigenden Druck ein Strom von Flüssigkeit nach aussen getrieben und damit muss die in der Zeiteinheit aus der Zelle austretende Salzmenge zunehmen. Diese Zunahme wird unter sonst gleichen Umständen um so geringer sein, je enger die capillaren Räume und je geringer damit die Schnelligkeit der Wasserbewegung wird. — Falls innerhalb der Thonzelle das durch die Niederschlagsmembran diosmirte Salz nicht sogleich entfernt wird, würde mit dem Bestehen einer verdünnten Salzlösung auf der äusseren Fläche der Niederschlagsmembran natürlich die Druckhöhe sinken müssen, doch dürfte wohl bestimmt bei der immer nur mässigen Diosmose der angewandten Salze und der grossen Porosität der Thonzellen dieser Fehler stets äusserst gering ausgefallen sein.

Die mit gleicher Lösung in derselben Zelle erhaltenen Resultate fielen immer in hohem Grade übereinstimmend aus. So wurde in

1) Abhandl. über d. mechan. Wärmetheorie 1867, II, p. 260 u. 277.

Digitized by Google

Ferrocyankupfermembran für 1procentige Rohrzuckerlösung nur einmal eine Druckdifferenz von 1 Ctm. gefunden, während in 5 anderen Zellen mit derselben Lösung angestellte vergleichende Versuche stets einen noch geringeren Unterschied für ein und dieselbe Zelle ergaben. Dagegen weichen die in verschiedenen Zellen mit aufgelagerter Membran aus Ferrocyankupfer gewonnenen Resultate erheblicher von einander ab; für 1procentige Zuckerlösung, mit welcher die meisten Experimente ausgeführt wurden, liegen die in 16 Einzelversuchen gemessenen Druckhöhen zwischen 47,1 und 53,8 Ctm. Diese Abweichung kann, bei der sonst auffallend genauen Uebereinstimmung von zeitlich oft sehr weit getrennten Versuchen mit derselben Zelle, nicht in einem methodischen Fehler liegen, sondern muss durch die Qualität der Zelle bedingt sein. Doch kann auch nicht irgend eine schadhafte Stelle der Grund sein, da eine solche bei Gegenwart der Membranogene reparirt worden wäre und so auch nicht die grosse Uebereinstimmung der mit derselben Zelle angestellten Versuche hätte zu Stande kommen können.

Eine naheliegende Erklärung scheint mir für die eben namhaft gemachte Abweichung ausreichend zu sein. Die Bezeichnung »aufgelagerte Membran« ist ja nicht im strengsten Sinne des Wortes zu nehmen, vielmehr kann die Niederschlagsmembran, vermöge der Art und Weise ihrer Darstellung, thatsächlich sehr wohl eingelagert, d. h. ganz oder theilweise von einer dünnen Schicht Thonmasse bedeckt sein. In den Poren der Thonmasse, durch welche die Zuckerlösung an die Niederschlagsmembran gelangt, besteht aber in der Grenzschicht eine anders zusammengesetzte, in unserem Falle wohl verdünntere Lösung und da wo die Niederschlagsmembran an diese Grenzschicht stösst, wirkt diese ja nur vermöge der in ihr bestehenden Concentration. Hierdurch würde natürlich ein geringerer Druck als durch 1procentige Zuckerlösung zu Stande kommen, die Resultante aus allen einzelnen Leistungen ist aber die factisch gemessene Druckhöhe.

Die für verschiedene Zellen gefundenen Druckdifferenzen sind ja thatsächlich gering genug, um die eben gegebene Erklärung zuzulassen. Die Unterschiede werden dann zunächst davon abhängen, ob die Niederschlagsmembran ganz, theilweise oder gar nicht von Thonmasse bedeckt ist, ausserdem wird aber auch physikalische und chemische Beschaffenheit des Thonmaterials eine Rolle spielen können. Liegt die Niederschlagsmembran einmal innerhalb der Thonmasse, so muss es, wie leicht einzusehen ist, für die Druckhöhe gleichgültig sein, ob die überdeckende Thonmasse eine sehr dünne oder eine dickere Schicht bildet. Letzteres ist der Fall bei den mitten in die Thonmasse eingelagerten

Digitized by Google

Niederschlagsmembranen. Mit einer solchen Zelle aus Ferrocyankupfer stellte ich nur einen einzelnen Versuch an, welcher für 1proc. Zuckerlösung eine Druckhöhe von 47,0 Ctm. ergab, also eine gleiche, wie sie als geringster Werth für aufgelagerte Membranen gefunden wurde.

Der ungleichen Druckhöhe halber sind die mit verschiedenen Zellen gewonnenen Resultate nur unter sich vergleichbar, wenn sie auf eine commensurable Einheit reducirt werden. Als Basis dieser Reduction diente mir da, wo es sich um Vergleichung der osmotischen Leistung verschiedener Stoffe handelte, die mit 1procentiger Zuckerlösung entstehende Druckhöhe. Vollkommen fehlerfrei ist freilich ein solcher Vergleich nicht, weil die nach obigem Princip zu Stande kommende Schwächung der osmotischen Leistung schwerlich proportional der durch verschiedenartige Lösungen erzeugten Druckhöhe ist. Dass aber der begangene Fehler nicht gross sein kann, sieht man leicht ein und geht auch aus der Relation der Werthe hervor, welche in verschiedenen Zellen für gleiche Lösungen gewonnen wurden. Es bedarf keiner besonderen Auseinandersetzungen, wie die eben in Erwägung gezogenen Verhältnisse für den ohne Druck vor sich gehenden osmotischen Wasserstrom in Betracht kommen.

Von anderen Niederschlagsmembranen habe ich nur solche aus Berlinerblau und aus Calciumphosphat zu einigen wenigen Versuchen benutzt. Als Mittel aus zwei, mit verschiedenen Zellen angestellten Experimenten, ergab die Membran aus Berlinerblau für 1procentige Rohrzuckerlösung eine Druckhöhe von 38,7 Ctm., während ein einzelner Versuch mit Calciumphosphatmembran für dieselbe Lösung eine Druckhöhe von 36,1 Ctm. lieferte (vgl. Belege Nr. XVI u. XVII). Dabei stimmt das diosmotische Verhalten dieser beiden Membranen mit dem der Ferrocyankupfermembran insofern überein, als auch durch jene nur bei Anwendung concentrirter Lösung nachweisbare Spuren von Rohrzucker diosmiren. Die geringere Druckhöhe wird man deshalb wohl einer weniger günstigen Constitution der Diffusionszone zuschreiben dürfen.

Sehen wir uns nun die von verschieden concentrirten Lösungen desselben Stoffes hervorgebrachten osmotischen Druckhöhen an. In den folgenden Tabellen sind die mit Zucker und Gummi gewonnenen Resultate zusammengestellt. Die beiden Columnen *O* geben die in zwei verschiedenen Zellen gemessenen Druckhöhen an, aus welchen nach Reduction auf gleiche Einheit die unter *M O* stehenden Mittelwerthe gewonnen sind. In der Verticalreihe $\frac{M\,O}{c}$ stehen die durch diese

Digitized by Google

Ueberschrift gekennzeichneten Quotienten, während die folgende Columne $\frac{e}{c}$ die correspondirenden Quotienten aus der Concentration in den Wassereinstrom (ohne Druck) enthält (siehe Tabelle 1 u. 2, p. 64). Die Versuche mit Rohrzucker, deren Belege unter Nr. VII im Anhang mitgetheilt sind, wurden bei Temperaturen zwischen 13,5 und 16,1°C. ausgeführt. Die Belege für die mit Gummi arabicum angestellten Versuche sind ebenda unter Nr. VIII mitgetheilt. Lagen für dieselbe Lösung mehrere mit derselben Zelle gewonnene Werthe vor, so ist in Tabelle 9 der Mittelwerth aufgeführt worden.

Tabelle 9.

Versuche mit Rohrzucker.

c Concentration in Gew.-Proc.	O Druckhöhe	O Druckhöhe	$M.\ O$	$\frac{M.\ O}{c}$	$\frac{e}{c}$
1 Proc.	53,5 Ctm.	47,2 Ctm.	1	1	1
2 »	101,6 »		1,90	0,95	0,97
2,74 »	151,8 »		2,65	0,97	
4 »	208,2 »		3,89	0,97	
6 »	307,5 »	267,9 »	5,71	0,95	0,94

Tabelle 10.

Versuche mit arabischem Gummi.

c Concentration in Gew.-Proc.	O Druckhöhe	O Druckhöhe	$M.\ O$	$\frac{M.\ O}{c}$	$\frac{e}{c}$
1 Proc.	7,1 Ctm.	6,7 Ctm.	1	1	1
6 »	27,5 »	24,3 »	3,75	0,62	0,60
18 »	120,0 »	118,4 »	17,28	0,96	0,91

Die Quotienten aus Concentration in Druckhöhe $\left(\frac{M.\ O}{c}\right)$ und Wassereinstrom $\left(\frac{e}{c}\right)$ fallen namentlich für Zucker, aber auch für Gummi nahezu übereinstimmend aus, d. h. Druckhöhe und Wasserstrom wachsen in demselben Verhältnisse. Das früher über Beziehung zwischen Concentration und Wasserbewegung Gesagte gilt somit auch hinsichtlich des Verhältnisses zwischen Concentration und Druckhöhe.

Bei Gummi sind die Quotienten $\frac{e}{c}$ etwas kleiner, als $\frac{M.\ O}{c}$ und hieraus würde folgen, dass die Wasserbewegung für verschieden concentrirte Lösungen dieses Stoffes etwas langsamer zunimmt, als die Druckhöhe. Die geringen Differenzen können aber sehr wohl Fehler-

Digitized by Google

quellen entstammen und berechtigen um so weniger zu bestimmten Schlussfolgerungen, als auch die Beobachtungen, aus welchen die fraglichen Werthe abgeleitet wurden, zu wenig zahlreich sind. Wären diese Quotienten fehlerfreie Werthe, so würde zunächst daraus hervorgehen, dass die Diffusionszone durch den einseitigen Wasserstrom erweitert und eben dadurch eine relative Verlangsamung der Wasserbewegung herbeigeführt wurde. Eine erhebliche Erweiterung der Diffusionszone ist freilich nach den früheren Erwägungen nicht möglich, jedoch ist eine geringe Erweiterung bei Gummi und ähnlichen Stoffen noch am ehesten zu erwarten, indem hier Viscosität der Flüssigkeit und die vielleicht relativ geringere Kraft, welche auf Constanz der Diffusionszone hinarbeitet, ins Gewicht fallen.

Von diosmirenden Salzen habe ich nur einige Versuche mit verschieden concentrirten Salpeterlösungen angestellt, welche nicht recht befriedigend ausfielen. Einige mit derselben Membran und derselben Lösung angestellte Experimente, welche ich hier nicht mittheile, ergaben nicht unerheblich von einander abweichende Werthe und einigemal nahm der schon erreichte Druck ziemlich schnell nicht unbeträchtlich ab, offenbar weil die Niederschlagsmembran irgendwie schadhaft wurde, ohne dass ich einen Grund dafür anzugeben weiss. Deshalb möchte ich auch auf die in nachstehender Tabelle mitgetheilten Resultate keinen besondern Werth legen.

In der Tabelle stehen in Columne O wieder die gemessenen Druckhöhen, unter $\frac{O}{c}$ die Quotienten aus Concentration in die Druckhöhen, endlich in der mit $\frac{M.\,O}{c}$ überschriebenen Columne die Quotienten, welche sich berechnen, wenn die Leistung einer einprocentigen Lösung = 1 gesetzt wird. (Belege Nr. X.)

Tabelle 11.

Versuche mit Salpeter.

c Concentration in Gew.-Proc.	O Druckhöhe	$\frac{O}{c}$	$\frac{M.\,O}{c}$ $\left(\frac{163+171,5}{2}=1\right)$ gesetzt
0,80 Proc.	130,4	163,0	1
0,86 »	147,5	171,5	
1,43 »	218,5	152,8	0,91
3,30 »	436,8	132,4	0,79

Digitized by Google

Die Quotienten aus Concentration in Wassereinstrom wurden für 1, 2 und 4procentige Salpeterlösung zu 1, 0,89 und 0,85 bestimmt (vgl. p. 66). Ich unterlasse es, hieraus angenäherte Werthe für diejenigen Concentrationen abzuleiten, deren osmotische Druckleistung gemessen wurde, da ich, wie gesagt, diese Messungen für nicht recht genau halte. Deshalb würden aber auch die, wie man ohne weiteres sieht, nicht gerade übereinstimmenden Quotienten zu keiner bestimmten Schlussfolgerung berechtigen.

15. Schwankungen der Druckhöhe.

Bisher wurde der Einfluss der Temperatur nicht weiter beleuchtet, da in der That, wie aus Folgendem hervorgeht, unsere bei nur um wenige Grade verschiedener Temperatur angestellten Versuche oder Versuchsreihen ohne merklichen Fehler miteinander verglichen werden durften.

Eine Temperaturerhöhung wird, wenn chemische Actionen aus dem Spiele bleiben, in der Membran den mittleren Abstand der näheren Bestandtheile, aber auch der zum Tagma aggregirten Molecüle vergrössern, zugleich in der Flüssigkeit Cohäsion und Viscosität vermindern. Ausserdem ist im Allgemeinen eine Verminderung der Adhäsion zwischen Wand und Flüssigkeit zu erwarten, welche sich ja auch durch die mit der Temperatur sinkende Capillarerhebung kund gibt und mit den massgebenden Molecularkräften kann sich dann auch die variable Grenzschicht (desgl. die Diffusionszone) ihrer Ausdehnung und Constitution nach ändern. Diese Aenderungen zu ermitteln und aus den bestimmenden Factoren abzuleiten, ist zur Zeit unmöglich, da solches selbst für den weit einfacheren Fall, für die freie Diffusion nicht gelingt, welche bekanntlich durch Temperaturerhöhung sehr beschleunigt wird [1]), während doch bei Diosmose noch die Gesammtheit der zwischen Membran einerseits und lösendem Medium und gelöstem Körper andererseits wirkenden Molecularkräfte mit eingreift. Noch complicirter muss sich die Sache dann gestalten, wenn auch chemische Umlagerungen mit ins Spiel kommen.

Betrachten wir den einfachsten Fall, dass ein Körper bei keiner Untersuchungstemperatur diosmirt. Mit steigender Temperatur wird für gleiche Triebkraft die Wasserbewegung natürlich gesteigert, aber

1) Siehe z. B. Graham, Annal. d. Chem. und Pharm. 1862, Bd. 121, p. 27. — Fick, Medicin. Physik II. Aufl., p. 28.

Digitized by Google

die Druckhöhe ändert sich, weil die Widerstände und Bahnen für Einstrom und Ausstrom dieselben sind, nur dann, wenn das Verhältniss zwischen den die beiden Ströme treibenden Kräften ein anderes wird [1]. In unserem Falle wird also eine Druckerhöhung eine Steigerung, eine Drucksenkung eine Verminderung der osmotischen Triebkraft anzeigen.

Zucker und Gummi sind Stoffe, welche bei den unten verzeichneten Temperaturen durch die angewandte Ferrocyankupfermembran nicht in merklicher Weise diosmiren. Den exacten Beweis hierfür lieferte die Controle des specifischen Gewichtes der Lösung und der Rückgang auf die frühere Druckhöhe bei Wiederherstellung der Ausgangstemperatur. (Siehe die Belege Nr. XI und XII.) Für diese beiden Körper wurde die Druckhöhe bei sehr weit auseinanderliegenden Temperaturen bestimmt und ist das gewonnene Resultat unten zusammengestellt. Mit Zucker wurden drei Versuchsreihen (*a*, *b*, *c*) in 3. verschiedenen Zellen ausgeführt. In jeder einzelnen Versuchsreihe blieb die Zelle während der Temperaturschwankungen ungeöffnet. Wenn zwei Bestimmungen mit derselben Zelle und Lösung bei wenig verschiedener Temperatur ausgeführt wurden, ist in Tab. 12 nur der Mittelwerth aus Temperatur und ebenso aus Druck angegeben.

---

1) In einer vorläufigen Mittheilung habe ich angegeben, die osmotische Druckhöhe sinke mit steigender Temperatur (Sitzungsb. d. niederrhein. Gesellschaft 2. Aug. 1875, Botan. Zeitung 1875, p. 734). Bei den ersten 3 Versuchen, welche ich bei variabler Temperatur anstellte, hatte ich allerdings jedesmal eine solche Drucksenkung beobachtet und auf diese Versuche fusste meine Anschauung. Die Druckschwankung muss aber Folge irgend eines in der Zelle entstandenen Schadens gewesen sein. Weiterhin, als mir mehr Erfahrung und Uebung in Darstellung und Behandlung der Zellen zu Gebote stand, kam mir unter ähnlichen Bedingungen, unter denen ich früher Drucksenkung beobachtet hatte, eine solche nur noch einmal vor und hier konnte ich die Ursache auch in einem Schadhaftwerden der Niederschlagsmembran entdecken. Thatsächlich war die fragliche Drucksenkung die Folge einer noch nicht überwundenen technischen Schwierigkeit und durch eine weitläufigere Darlegung könnte ich allerdings zeigen, wie ich ein solches Resultat fast mit Nothwendigkeit erhalten musste, als ich, wie damals, die Zellen in etwas anderer und wie die Erfahrung weiterhin zeigte, unzureichenden Weise präparirte. Indess will ich hier keine Entschuldigungen anbringen, wohl aber nachdrücklich hervorheben, dass mein damaliger Ausspruch, die Druckhöhe erfahre mit Erhöhung der Temperatur in Folge der Verminderung des Filtrationswiderstandes eine Senkung, thatsächlich unrichtig ist und natürlich ebenso alle die Folgerungen unhaltbar sind, welche auf diese Annahme gebaut wurden. Bemerkt sei noch, dass ich, wo von Beziehungen zwischen Druckhöhe und Filtrationswiderstand gesprochen wurde, natürlich immer eine Membran gleicher Dicke und sonst gleicher Qualität im Auge hatte. Indess bedarf es jetzt keiner Worte mehr, dass der osmotische Werth einer Membran durch die Grösse des Filtrationswiderstandes ungenügend bezeichnet wurde. Durch einen lapsus pennae ist in den vorläufigen Mittheilungen für 2proc. Rohrzuckerlösung eine Druckhöhe angegeben, welche thatsächlich durch 3proc. Zuckerlösung erzielt war.

Digitized by Google

Tabelle 12.

Versuche mit 1procentiger Rohrzuckerlösung.

	Temperatur	Druckhöhe
a	14,2°C.	51,0 Ctm.
	32,0 -	54,4 -
b	6,8°C.	50,5 Ctm.
	13,7 -	52,5 -
	22,0 -	54,8 -
c	15,5°C.	52,0 Ctm.
	36,0 -	56,7 -

Tabelle 13.

Versuch mit 14proc. Lösung aus arabischem Gummi.

Temperatur	Druckhöhe
13,3°C.	69,2 Ctm.
36,7 -	72,4 -

Wie man aus diesen Tabellen sieht, steigt die Druckhöhe ein wenig mit der Temperatur. Ist diese Zunahme auch nicht gross, so ist sie doch ansehnlich genug, um, bei constanter Wiederkehr in allen Versuchsreihen, dieses Factum sicher zu stellen. Auch ist den mit Zucker angestellten Versuchen zu entnehmen, dass die Druckhöhe zwischen 6, 8 und 36°C. dauernd zunimmt. Für Differenzen von 2 u. 3°C. ist indess diese Zunahme zu gering, um bei Vernachlässigung nennenswerthe Fehler mit sich zu bringen. Welchen Variabeln speciell die geringe Drucksteigerung zu verdanken ist, lässt sich nicht bestimmt sagen [1]).

Die erhebliche Beschleunigung des osmotischen Wasserstromes mit der Temperatur zeigt die folgende Tabelle an, welche die mit 5procentiger Rohrzuckerlösung bei verschiedener Temperatur gemessene Wasserbewegung wiedergibt [2]). In der Columne *W* sind die im Laufe einer

1) Mit der Temperatursteigung bleibt das Volumen (annähernd) constant, während natürlich, der aus den Zellen herausfiltrirenden Flüssigkeitsmenge halber, die nach Gew.-Proc. geschätzte Concentration etwas zunimmt. Doch ist diese durch Dilatation der Flüssigkeit bedingte Aenderung zu gering, um beachtet werden zu müssen.

2) Hier ist Temperatur des Zellinhaltes und des umgebenden Mediums übereinstimmend. Wenn aber die beiden Membranseiten auf ungleicher Temperatur erhalten werden, so dürfte wohl in Folge dieser Differenz eine, wenn auch nur

Digitized by Google

Stunde beobachteten Steighöhen im Messrohr in Mm. wiedergegeben. die letzte Columne $\frac{W}{T}$ enthält die durch die Ueberschrift angezeigten Quotienten.

Tabelle 14.

Versuche mit 5procentiger Zuckerlösung.

T Temperatur	W Einstrom p. Stunde	$\frac{W}{T}$
7,1°C.	5,9 Mm.	0,831
17,6 -	9,4 -	0,534
32,5 -	13,3 -	0,409

Die Beobachtung wurde mit 17,6°C. begonnen und auch damit geschlossen; dabei ergaben sich für diese Temp. p. Stunde 9,5 und 9,3 als Einstromswerthe. Die Beobachtungszeit wurde so ausgedehnt, dass für jede Temperatur mindestens 12 Mm. Steigung im Messrohr abgelesen wurde. Beim Uebergang zu einem anderen Temperaturgrade wurde die Zelle jedesmal mit neuer Lösung gefüllt.

Ein einfaches Verhältniss zwischen Temperatur und Wasserbewegung ist aus den obigen Zahlen nicht herauszulesen und war ja auch von vornherein nicht zu erwarten. Um eine Interpolationsformel abzuleiten, sind diese Versuche nicht ausreichend und schien mir auch der Werth einer solchen empirischen Formel hier zu untergeordnet, um zahlreichere Experimente anzustellen [1]). Auch unterliess ich zu bestimmen, ob Lösungen anderer Stoffe für dieselben Temperaturgrade eine gleiche Relation der Wasserbewegung ergeben, wie sie in obiger Tabelle verzeichnet ist. Voraussichtlich würden kleine Abweichungen gefunden sein, welche indess bei geringen Temperaturunterschieden, wie sie in den früher mitgetheilten vergleichenden Experimenten über Wasser-

---

schwache Wasserbewegung aus analogen Gründen eintreten, wie sie der sogenannten Thermodiffusion von Gasen, d. h. dem Durchgang von Gas durch eine Scheidewand in der Richtung von der kälteren zur wärmeren Membranseite zu Grunde liegen. (Vgl. Feddersen, Poggendorff's Annalen 1873, Bd. 148, p. 302. — Theoretische Betrachtungen stellte Neumann an, Berichte d. kgl. sächs. Gesellschaft d. Wissenschaften 1872, Sitzung vom 15. Februar.) — Auch durch elektrische Ströme kann eine einseitige Wasserbewegung zu Stande kommen, die sog. elektrische Osmose, welche übrigens mit unserer Osmose nur gemeinsam hat, dass der Einfluss der Wandung zur Erzeugung des Phänomens nothwendig ist und es sich nicht um einfache mechanische Wirkung des elektrischen Stromes handelt Siehe Wüllner, Physik, II. Aufl., Bd. IV, p. 602 und 640.

1) Eine solche Formel, nach dem Muster von Lagrange's Interpolationsformel, suchte Eckhardt zu begründen. (Poggendorff's Annalen 1866, Bd. 128, p. 78.)

Digitized by Google

bewegung vorkamen, zweifellos zu gering sind, um auf das Resultat erheblichen Einfluss ausüben zu können.

Hier sei auch bemerkt, dass vergleichende Versuche in Dunkelheit und in hellem diffusen Licht weder für die Intensität der Wasserbewegung, noch für die Druckhöhe eine messbare Differenz ergaben. Uebrigens sind alle meine Versuche immer bei sehr schwacher Beleuchtung oder auch bei Lichtabschluss ausgeführt.

Eine directe Messung der Filtrationsschnelligkeit bei variabler Temperatur wurde nicht mit genügender Exactheit ausgeführt, um einer Mittheilung werth zu sein. Da die durch Zucker entstehende Druckhöhe mit der Temperatur nur wenig schwankt, so geben die oben mitgetheilten Einstromswerthe auch ein annäherndes Maass für das Verhältniss der Filtrationsschnelligkeit bei verschiedener Temperatur. Natürlich könnte diese Filtrationsschnelligkeit aus Messung des osmotischen Wasserstromes und der Druckhöhe auch genau abgeleitet werden [1].

Mit Vergrösserung der mittleren Abstände der Membrantheilchen kann Diosmose eines bestimmten Stoffes möglicherweise erst eingeleitet werden. Ganz allgemein aber wird die Diosmose eines Körpers mit der Temperatur zunehmen, namentlich in Folge der vermehrten lebendigen Kraft der Molecüle und der Erweiterung der Membranzwischenräume. Diese Beschleunigung wird indess ebensowenig, wie die Wasserbewegung, in einem einfachen Verhältniss zur Temperatursteigerung stehen. Aus naheliegenden Gründen wird Constitution und Ausdehnung der Grenzschicht mit der Temperatur variabel sein können und wenn dieses zutrifft, wird auch die Diosmose eines gelösten Stoffes nicht in gleichem Verhältniss, wie der nach entgegengesetzter Richtung gehende Wasserstrom mit der Temperatur wachsen müssen, abgesehen davon, dass auch andere Variable in diesem Sinne wirksam sein können. Allerdings fand Eckhardt [2] das endosmotische Aequivalent von Koch-

1) Schmidt (Poggendorff's Annal. 1856, Bd. 99) fand für Thierblase mit steigender Temperatur eine ähnliche Beschleunigung der Filtrationsmenge, wie sie Poiseulle für Glascapillaren durch eine empirische Formel mit trinomischem Factor ausdrückte (Siehe z. B. Wüllner, Physik, II. Aufl., Bd. I, p. 294). Diese Formel dürfte übrigens bei Niederschlagsmembranen kaum zutreffen u. gibt ohnehin eine jedenfalls nur mässige Annäherung, denn nach Meyer's Formel (siehe p. 72) muss (wie es auch Hagen fand) die Ausflussmenge für eine gewisse Temperatur ein Maximum erreichen, da die mit η und ϱ bezeichneten Factoren mit der Temperatur nicht in gleichem Verhältniss sich ändern.

2) Poggendorff's Annalen 1866, Bd. 128, p. 67. — Hiermit nicht in Einklang sind die älteren Untersuchungen Ludwig's (Zeitschrift f. rationelle Medicin 1849, Bd. 8, p. 9).

Digitized by Google

salz innerhalb grosser Temperaturdifferenzen constant, aber in diesem Falle ist ein Salz nicht massgebend für andere und auch die Natur der Membran kommt in Betracht. Ein eventueller Einfluss der variablen Grenzschicht wird natürlich um so deutlicher hervortreten, je geringer das Areal der nicht in der Wirkungssphäre der Membrantheilchen liegenden Zwischenräume ist.

Ein specielles physiologisches Interesse knüpft sich an Schwankungen der Druckhöhe an, welche begreiflicherweise, sowohl durch Veränderung in der Membran, als auch im Zellinhalt herbeigeführt werden können. Bei zuvor nicht diosmirenden Körpern ruft, wie wir darlegten, eine einfache Erweiterung der Membranzwischenräume nur dann eine Druckschwankung hervor, wenn eben durch diese Erweiterung die Diosmose eingeleitet wird, wohl aber kann ausserdem Hebung oder Senkung der Druckhöhe durch solche Aenderungen in der Membran erzielt werden, welche auf die Constitution der Diffusionszone influiren. Was die osmotische Leistung des Zellinhaltes betrifft, so kann diese ebensowohl durch Concentration, wie durch chemische Umlagerung eine andere werden.

Die angedeuteten Bedingungen für Druckänderungen können selbstredend auf mannigfache Weise herbeigeführt werden, namentlich aber durch Eintritt eines Stoffes in die Haut, oder in den Zellinhalt, oder durch Umsetzungen, welche durch von aussen influirende Kräfte herbeigeführt werden. Was letzteres anbelangt, so bieten uns physikalische und chemische Thatsachen, namentlich insofern es sich um Wärme und Licht handelt, Anhaltspunkte dar, welche, worauf ich im physiologischen Theil zurückkomme, als leitende Gedanken auf dem Gebiete der Physiologie fruchtbar werden können. Von diesem Gesichtspunkte aus muss die folgende Behandlung des Gegenstandes beurtheilt werden: sie soll nichts Abschliessendes sein, sondern nur Anregung geben und auf einzelne principiell wichtige Punkte aufmerksam machen.

Der einfachste Fall ist wohl gegeben, wenn in der Zelle gesättigte Lösung und daneben ungelöste Masse desselben Körpers vorhanden ist. Je nachdem die Löslichkeit mit der Temperatur zunimmt oder abnimmt, muss dann mit Erhöhung der Temperatur die Druckhöhe steigen oder fallen. Einen Beleg für diese so selbstverständliche und beliebig oft wiederholbare Schwankung führe ich nur an, weil ein entsprechendes Experiment nun einmal ausgeführt wurde. In eine Zelle mit aufgelagerter Ferrocyankupfermembran war überschüssiger Weinstein gebracht und nachdem die Druckhöhe für die bei 13,0° C. gesättigte Lösung zu

Digitized by Google

68,3 Ctm. bestimmt worden war, wurde mit Steigerung der Temperatur auf 29,2°C. eine Erhöhung des Druckes auf 115,8 Ctm. beobachtet (siehe Belege Nr. XIII). Beiläufig bemerkt löst sich Weinstein in 240 Theilen kaltem und in 14 Theilen siedendem Wasser.

Weiter kommt für uns in Betracht die Dissociation flüssiger oder gelöster Körper, welche z. B. erst beginnen kann oder gesteigert wird, wenn Licht oder Wärme die lebendige Kraft der Molecularbewegung und die Disgregation vergrössern. Je complexer der Aufbau eines gelösten Körpertheilchens ist und je schwächer die zusammenhaltenden Kräfte sind, um so leichter wird im allgemeinen vermehrte lebendige Kraft eine Trennung in einfachere Molecüle herbeiführen können, um so mehr wird die Zahl der dissociirten Molecüle steigen [1]). Natürlich tritt z. B. für jeden Temperaturgrad ein Gleichgewichtszustand ein, in welchem in der Zeiteinheit ebensoviel Massentheilchen dissociiren, als durch Zusammentreffen der Molecüle neu gebildet werden. Kam zuvor ein Massentheilchen — es mag ein Tagma sein — nur als einheitliches Ganzes in Betracht, so wirken nach der Dissociation nun die getrennten Molecüle und wie andere Eigenschaften des Körpers sich ändern, so würde es auch zufällig sein, wenn die osmotische Wirkung dieselbe bliebe. Als gewöhnlicher Fall ist zu erwarten, dass wo Molecüle durch Dissociation aus ihrem Verbande treten, die Druckhöhe zunehmen wird, weil ja Grösse der Körpertheilchen, von Tagmen oder Molecülen, für Diffusionsschnelligkeit und damit auch für osmotische Leistung (ceteris paribus) ungünstig ist.

Die unmittelbaren Dissociationsvorgänge, wie sie durch Temperatur herbeigeführt werden, kommen im wesentlichen auf zwei Gesichtspunkte zurück, entweder wird Wasser von den gelösten Körpertheilchen abgespalten oder es zerfallen diese unter Bildung von Basis oder eines basischen Salzes [2]), Vorgänge, welche wohl besser und allgemeiner als tagmatische und moleculare Dissociation (Zersprengung des Tagmas oder des Molecüls) unterschieden werden könnten. Das bei 33°C. eintretende Löslichkeitsmaximum des Natriumsulfates ($Na^2SO^4 + 10H^2O$), eine Folge der Bildung wasserfreien Salzes [3]), ist eine der zahlreichen derartigen Dissociationserscheinungen, welche das Cobaltchlorür unmittelbar sichtbar vorführt, indem die rothe Lösung bei höherer Temperatur

1) Vgl. z. B. Naumann, allgemeine Chemie 1875 (Gmelin-Kraut's Handbuch) p. 488 u. 514. — Pfaundler, Der Kampf ums Dasein unter den Molecülen, in Poggendorff's Annalen 1874, Jubelband, p. 182.

2) Naumann, l. c., p. 551.

3) Naumann, l. c., p. 480. — Auch dessen Thermochemie, 1869, p. 76.

Digitized by Google

blau wird, weil die wasserhaltige Molecülverbindung dissociirt. Ebenso wird moleculare Dissociation durch Abscheidung von Eisenoxyd beim Erwärmen verdünnter Eisenchloridlösung unmittelbar demonstrirt. Von Interesse ist es, dass, aus übrigens nahe liegendem Grunde, in letzterem Falle die Zersetzungstemperatur durch Verdünnung der Lösung erniedrigt, bei Abspaltung von Hydratwasser dagegen erhöht wird.

Für die Ausgiebigkeit der Dissociation, welche ausser von der Temperatur auch von den specifischen Eigenschaften des Körpers abhängt, kommt, wenigstens in etwas, auch der Druck in Betracht, unter welchem die Flüssigkeit steht. Mit Erhöhung dieses muss, wenn die Dissociationsproducte ein grösseres Volumen einnehmen — und dieses ist ja der gewöhnlichste Fall — die Zerspaltung im allgemeinen ein wenig gehemmt werden, dagegen gefördert werden, wenn mit der Dissociation eine Volumverminderung eintritt. Es ist dieses Folge der gleichen Ursachen, durch welche die Schmelztemperatur des Paraffins mit Druck erhöht, des Eises dagegen erniedrigt wird, was, wie die von Clausius[1]) entwickelten allgemeinen Gleichungen ergeben, einfach davon abhängt, ob die Differenz zwischen specifischem Volumen des festen und flüssigen Aggregatzustandes positiv oder negativ ausfällt.

Die wenigen Versuche haben hinsichtlich der directen Bedeutung der Dissociation für Druckschwankungen zwar kein befriedigendes Resultat geliefert, allein man vergesse nicht, wie es hier auf Wahl eines passenden Körpers ankommt, und weiter werde ich schon unten andeuten, wie für physiologische Vorgänge indirecte (auslösende) Wirkungen der Dissociationsproducte in erster Linie in Betracht kommen dürften.

Ein Versuch mit 0,3 Procent wasserfreies Salz enthaltender Lösung von Natriumsulfat in Ferrocyankupfermembran ergab zunächst bei 14,3°C. eine Druckhöhe von 95,2 Ctm., welche mit Erhöhung der Temperatur bis 35,3°C. auf 98,9 Ctm. stieg und bei Rückgang auf 14,8°C. zu 91,8 Ctm. bestimmt wurde; es war eben Salz während der sechstägigen Versuchsdauer diosmirt. Deshalb, ferner weil der hohen osmotischen Leistung halber verdünnte Lösung genommen werden muss, in welcher die Dissociation, d. h. hier die Abspaltung von Hydratwasser, herabgedrückt wird, ist Natriumsulfat ein ungeeignetes Object. Soviel zeigt freilich der obige Versuch, dass verdünnte Lösung von Glaubersalz bei Temperaturschwankung zwischen 14 und 35 Grad eine grössere Schwankung der Druckhöhe nicht verursacht.

1) Die mech. Wärmetheorie 1876, Bd. I, p. 172.

Digitized by Google

Die relativ starke Diosmose des übrigens hohe Druckkraft erzeugenden Ammoniumacetats liess auch einen Versuch mit diesem Salze ungünstig ausfallen. In Folge der Diosmose wurde für eine eingefüllte 0,3procentige Lösung die Druckhöhe zunächst zu 87,5 Ctm., nach 6 Tagen bei derselben Temperatur (14,2° C.) zu 67,0 Ctm. bestimmt und deshalb kann man von dem inzwischen bei 36° C. gefundenen Druck von 85 Ctm. nicht sagen, in wie weit Verlust an Salz einen eventuellen Effect der Dissociation eliminirte. Immerhin lassen die Versuche wohl ersehen, dass auch hier die Drucksteigerung mit der Temperatur keine sehr erhebliche sein kann. Nach Dibbit's Angabe sollen bei 100° C. in einer Lösung von Ammoniumacetat 7 Procent des Salzes dissociirt enthalten sein, eine Angabe, die freilich auf nicht vorwurfsfreie Versuche basirt ist [1].

Einige Experimente wurden auch mit Doppelsalzen ausgeführt, welche freilich nach thermochemischen Studien von Favre und Valson [2], sowie nach Diffusionsversuchen von Marignac [3] nicht als solche in Lösung existiren sollen.

Zwei Versuche mit weinsaurem Natronkali (Tartarus natronatus) ergaben folgendes Resultat. (Belege Nr. XIV.) Für eine einprocentige Lösung wurde die Druckhöhe bei 13,3° C. zu 147,6 Ctm., dann bei 36,6° C. zu 156,4 Ctm. bestimmt, während inzwischen durch Diosmose die Concentration um 0,06 Procent gesunken war. Eine 0,6procentige Lösung lieferte als Druckhöhe bei 12,4° C. = 91,6 Ctm., bei 37,3° C. = 98,3 Ctm., und zum Schluss bei 14,2° C. = 90,0 Ctm. Es war also die Druckhöhe mit der Temperatursteigerung für die 1procentige Lösung mindestens um 8 Ctm., für die 0,6procentige Lösung jedenfalls um

---

1) Dibbit's (siehe Naumann, Allg. Chemie p. 547) bestimmte die entziehbare Menge des Ammoniaks, wobei, eben dieser Entziehung halber, die Reaction weiter fortschreiten musste, wie ja schon Berthollet in seiner chemischen Statik (1803) ausführte, dass eine sonst nur partielle Reaction mit Entziehung eines der Zersetzungsproducte total werden könne. Aus gleichem Grunde können Versuche, in denen durch Ausschütteln mit Aether u. s. w. (Berthelot et St. Martin u. a.), oder durch Diffusion und Diosmose (Graham u. a.), oder auf anderem Wege eine Trennung erzielt wird, nur angeben, ob überhaupt Dissociation stattfindet, aber kein quantitatives Maass für diese werden.

2) Naumann, l. c., p. 535.

3) Annal. d. chim. et d. phys. 1874, V. ser., Bd. II, p. 546. — Nicht ganz in Einklang hiermit sind Versuche Graham's, der auf Grund der diffundirenden Mengen zu dem Schlusse kommt, dass sich Doppelsalze beim Auflösen nicht zersetzen, dass dagegen die Componenten sich beim Auflösen nicht sogleich zum Doppelsalz vereinigen. Diese an sich unwahrscheinlichen Angaben sind meines Wissens später nicht wieder speciell geprüft worden (Graham in Ann. d. Chem. u. Pharm. 1851, Bd. 77, p. 84).

Digitized by Google

7 Ctm. gestiegen. Vergleicht man diese Zunahme mit der geringeren für Zucker und Gummi bei Temperatursteigerung gefundenen Druckerhöhung, so liegt wohl der Gedanke nahe, Dissociation möchte hier mit im Spiele sein, indess beweisend sind diese Resultate durchaus nicht. Sie könnten es vielleicht werden, wenn auch die osmotischen Druckleistungen für weinsaures Kalium und weinsaures Natrium einzeln bei entsprechenden Wärmegraden bestimmt würden.

Das soeben Gesagte gilt auch für Zucker-Chlornatrium ($C^{12}H^{22}O^{11} + NaCl$). Eine Lösung, welche 1,171 Procent dieses Doppelsalzes enthielt, ergab folgende Druckhöhen: bei 14,5°C. = 123,6 Ctm., bei 37,9°C. = 129,2 Ctm. und bei 15,0°C. = 120,7 Ctm. (Belege Nr. XV). Die während der Versuchsdauer eingetretene Drucksenkung ist durch Diosmose von etwas Kochsalz herbeigeführt worden.

Ein in Berlinerblaumembran mit Eisenalaun ausgeführter Versuch gab ein zu wenig befriedigendes Resultat, namentlich hatte sich auch im Laufe einiger Tage eine nicht unerhebliche Menge Eisenoxyd ausgeschieden. Vielleicht ist die Ursache für diese Ausscheidung ein diosmotischer Uebergang der dissociirten Salzsäure in die umgebende Flüssigkeit und die dadurch bedingte weiter fortschreitende Dissociation des Eisensalzes.

Sind nun auch die mitgetheilten Versuche mit Tartarus natronatus und Zucker-Chlornatrium nicht ohne weiteres im Stande ein partielles Bestehen dieser Doppelsalze in wässriger Lösung festzustellen, so muss solches doch auch auf Grund des Bewegungszustandes der Materie wahrscheinlich erscheinen. Mit dem variablen Bewegungszustand wird auch die Anzahl existirender Molecüle oder Tagmen des Doppelsalzes eine andere werden, mit zunehmender lebendiger Kraft, also auch mit der Temperatur sich verringern müssen. Die bis dahin angestellten Versuche bieten übrigens auch keine solche Genauigkeit, um den Fortbestand einer geringen Menge des Doppelsalzes in Lösung sicher ermitteln zu können. Die Messung der osmotischen Wirkung in Niederschlagsmembranen gewährt, wenn in oben angedeuteter Weise vergleichend verfahren wird, eine neue Methode, um die Grösse der Dissociation zu ermitteln, ohne die Dissociationsproducte von einander trennen zu müssen.

Schwankungen in der Druckhöhe mit chemischen Metamorphosen im Zellinhalt sind ja selbstverständlich, weil verschiedenen Stoffen ungleiche osmotische Leistung zukommt. Wenn demnach obige Versuche zu dem gesuchten Resultate nicht führten, so liegt es eben daran, dass geeignete Zersetzungen nicht erzielt wurden.

Digitized by Google

Dissociationsvorgänge durch Wärme und namentlich auch durch Licht, sind zahlreich und in mannigfachster Weise bekannt, aber gerade für Körper mit complicirt aufgebauten Massentheilchen, welche im Organismus eine bedeutungsvolle Rolle spielen, wenig untersucht. Wie sehr z. B. die Druckhöhe sinken müsste, wenn in Folge der durch Licht oder Wärme hervorgerufenen vermehrten Molecularbewegung die Tagmen eines colloidalen Körpers in crystalloide Molecüle zerspalten würden, zeigt die so unverhältnissmässig höhere osmotische Leistung der Krystalloide. Ebenso könnte ja durch solche oder ähnliche Vorgänge die Diosmose eines Stoffes modificirt oder überhaupt erst eingeleitet werden.

Durch Wärme und Licht wird wohl meist nur ein geringer Bruchtheil eines Stoffes dissocirt erhalten; der stationäre Zustand, in welchem gleichviel Massentheilchen zersprengt und regenerirt werden, ist bald erreicht. Sobald aber eines der Dissociationsproducte dauernd entfernt wird, sei es durch chemische Bindung, durch Diosmose oder auf andere Weise, ist die Möglichkeit gegeben, dass auch minimale Dissociation zu totaler Zersetzung führt. Dieser Gesichtspunkt würde auch in osmotischer Hinsicht, sowohl für Diosmose, als auch für Druckhöhe, eine mannigfache Ausbeutung gestatten. Hier will ich nur auf einen möglichen Fall hinweisen, da ohnehin jeder, der mit den einschlägigen physikalischen und chemischen Dingen vertraut ist, eine grosse Zahl von Fragen sich leicht zurecht legen kann, welche theilweise physiologisch wichtig sind. Bei Beleuchtung dissociirt von Eisenchlorid eine jedenfalls nur geringe Menge, würde aber die frei gewordene Salzsäure in geeigneter Niederschlagsmembran durch Diosmose fortwährend entfernt, so würde die Dissociation weiter fortschreiten und nach dem was Graham[1]) über Bildung des löslichen Eisenoxydhydrates mittheilt, lässt sich mit Bestimmtheit voraussagen, dass ein nur wenig Salzsäure enthaltendes colloidales Ferrihydroxyd das Endproduct sein würde. Nun könnte aber durch Zufuhr von Salzsäure, also durch Einstellung der geschlossen bleibenden Zelle in Wasser, welches eine genügende Menge von Salzsäure enthält, der anfängliche Zustand wieder hergestellt werden. Die Druckhöhe würde aber mit Bildung des colloidalen Eisenoxyds sicher sehr stark herabgehen, da dem Eisenchlorid, wenigstens in Berlinerblaumembran eine sehr hohe osmotische Leistung zukommt.

1) Poggendorff's Annalen 1862, Bd. 121, p. 45. — In eleganter Weise wurde die Menge dissocirten Eisenoxyds von Wiedemann aus dem ungleichen Molecularmagnetismus des Eisenoxyds in Verbindung mit Säure und des colloidalen Eisenoxyds abgeleitet (Vgl. Naumann, allgem. Chemie 1876, p. 549).

Digitized by Google

Allgemein geht ja die Wirkung von Licht und Wärme zunächst dahin, den Verband der Molecüle zu zerreissen, aber in Folge dessen können bei Gegenwart anderer Körper gewaltige Reactionen zu Stande kommen. Allbekannt ist die bei Beleuchtung so leicht mit Explosion vor sich gehende Vereinigung von Chlor mit Wasserstoff, welche erst als Folge der Zerspaltung einer Anzahl Chlormolecüle in ihre Atome zu Stande kommt, eine Dissociation, welche von Budde[1]) direct nachgewiesen wurde. Ebenso ist es Folge der Lockerung des molecularen Verbandes, dass am Licht höhere Oxydationsstufen von Metallsalzen bei Gegenwart oxydabler Stoffe in niedere Oxydationsstufen übergehen. Mit einem solchen gleichzeitigen Reductions- und Oxydationsvorgang hängt z. B. die erst am Licht eintretende, unter Umständen sehr lebhafte Kohlensäureentwickelung aus einem Gemenge von Eisenchlorid und Oxalsäure zusammen[2]). Durch derartige Zersetzungen können natürlich osmotische Processe in mannigfachster Weise modificirt werden und wenn beispielsweise Reduction des Quecksilberchlorids herbeigeführt würde, so hätte man mit Ausscheidung des unlöslichen Quecksilberchlorürs eine Senkung der Druckhöhe zu erwarten.

Von ganz besonderer Wichtigkeit für physiologische Fragen sind diejenigen chemischen Umwandlungen, welche durch eine verhältnissmässig geringe Menge eines wirkenden Stoffes, also nöthigenfalls durch eine minimale Quantität eines durch Dissociation in Freiheit gesetzten Körpers vermittelt werden. Erst als Williamson die Aetherbildung aufklärte, fiel ein Lichtstrahl in die so geheimnissvoll erscheinenden, sogenannten »katalytischen« Wirkungen. Die dauernde Umsetzung zwischen Aetherschwefelsäure und Alkohol in Aether und Schwefelsäure, sowie die stetige Neubildung von Aetherschwefelsäure aus Alkohol und Schwefelsäure, diese Continuität zweier nebeneinander verlaufender Processe ermöglicht mit wenig Schwefelsäure viel Alkohol in Aether zu verwandeln, ja die mit einem Minimum von Schwefelsäure erzeugbare Aethermenge würde unbegrenzt sein, wenn die Reaction vollkommen glatt verliefe. In analoger Weise, d. h. als Folge der Continuität der chemischen Processe, müssen auch die Leistungen derjenigen sog. Fermente angesehen werden, welche eine unverhältnissmässig grosse Menge eines Stoffes chemisch umwandeln können. Gerade durch sog. Fermente kommen aber grossartige chemische Processe im Orga-

1) Poggendorff's Annalen 1872, Bd. 144, p. 213 und ebenda 1873, Ergänzungsband 6, p. 477.

2) Vgl. Becquerel, La lumière ses causes et ses effets 1868, Bd. II, p. 71.

Digitized by Google

nismus zu Stande und gleichviel, ob solche Fermente von aussen in eine Zelle (oder ein anderes Organ) eindringen, ob sie durch Dissociation in Freiheit und Wirkung gesetzt werden, oder ob die Fermente zwar selbst schon gegeben sind, ein hinzutretender Stoff aber erst deren Action ermöglicht, in allen Fällen leuchtet ein, wie z. B. schon minimale Dissociation weitestgehende chemische Metamorphosen hervorrufen und damit auch die osmotischen Vorgänge und Leistungen in neue Bahnen lenken kann.

Für die osmotischen Vorgänge kommt aber neben dem Inhalt auch die Qualität der Membran in Betracht. Ausser den Effecten, welche z. B. Licht und Wärme ohne chemische Eingriffe hervorbringen, können auch letztere bedeutungsvoll werden, sei es, dass irgend ein Agens unmittelbar oder vermöge anderweitig erzeugter Zersetzungsproducte auf die Membran influirt. Die allmälige Zersetzung des Berlinerblaus am Licht[1], die Entziehung von Phosphorsäure aus Eisenphosphat vermittelst Alkalien, sind z. B. Vorgänge, welche ohne Vernichtung der Continuität der Niederschlagsmembran ausführbar wären. Ferner kann auch, wie Traube[2] zeigte, die osmotische Eigenschaft einer Membran durch Infiltration, d. h. durch Einlagerung fremdartiger Massentheilchen in die Membran, verändert werden; Infiltration mit Bariumsulfat soll z. B. eine Haut aus gerbsaurem Leim für Ammoniumsulfat impermeabel machen.

Die Schwankung der osmotischen Vorgänge durch physikalische oder chemische Aenderung in Zellinhalt oder Membran haben zunächst nur untergeordnetes physikalisches[3], aber um so höheres physiologisches Interesse. Der physiologische Vorgang selbst wird aber erst die Fragestellung für experimentelle Studien mit leblosem Materiale zu liefern haben, Studien, an deren Hand sich dann vielleicht im Organismus abspielende Processe aufklären lassen. Sicherlich sind wohl auch die im Organismus uns sichtbar entgegentretenden osmotischen Vorgänge immer die Resultirende aus verschiedenen und verwickelten Einzelwirkungen und eben deshalb bietet es ungeheure Schwierigkeiten, die sichtbaren Leistungen auf ihre bedingenden Ursachen reduciren und aus diesen erklären zu können. Der verwickelten Vorgänge halber bietet sich aber auch ein sehr weites und grosse Erfolge versprechendes

1) Diese Zersetzung wurde von Chevreul studirt. Vgl. Becquerel, l. c., p. 72.
2) L. c., 1867, p. 141.
3) Sofern solche Schwankungen nicht zur Entscheidung gewisser Fragen führen können.

Digitized by Google

Gebiet dem Physiologen, welcher die im Object liegenden Schwierigkeiten zu besiegen versteht.

16. Historischer Ueberblick.

Nachdem die einschlägige Literatur der Hauptsache nach in dieser Abhandlung geeigneten Ortes Erwähnung gefunden hat, soll hier nur noch eine kurze historische Skizze gegeben werden[1].

Schon im vergangenen Jahrhundert (1748) wurde die Osmose von Nollet entdeckt, doch so wenig beachtet, dass die spätere Wiederauffindung von Fischer (1812) als eine neue Entdeckung erschien[2]. Uebrigens sind auch die von den eben genannten Forschern, sowie die von dem auf Nollet fussenden Parrot mitgetheilten Thatsachen keine Untersuchungen, welche, von leitenden Gedanken regiert, nach tieferer Einsicht streben. Dieses treffen wir zuerst bei Dutrochet, welcher zwischen 1826 und 1837 zahlreiche Untersuchungen über Osmose veröffentlichte und beinahe ebensoviele verschiedene Erklärungen des Phänomens versuchte, dessen hoher physiologischer Bedeutung sich unser Autor vollkommen bewusst war. Da Dutrochet selbst die, namentlich auf Elektricität und Capillarität gestützten Erklärungsversuche später verwarf und zwischen Dutrochet's erster Publication und dessen letzter zusammenfassender Darstellung[3] keine andere bahnbrechende Arbeit erschien, so glaube ich hier auch nur die endlichen geläuterten Anschauungen unseres Autors zu Grunde legen zu dürfen.

Ein einfach mit einer Membran auf einer Seite verschlossenes Glasrohr, im wesentlichen die schon von Nollet und Fischer benutzte Zusammenstellung, bildete Dutrochet's Endosmometer, auf welchem im Princip auch die später zu osmotischen Versuchen benutzten Apparate fussen. Von Dutrochet wurde wesentlich nur die Volumänderung des Zellinhaltes, sowie die von gegebenen Lösungen erzeugte Druck-

1) Da ich nur die historische Entwicklung unserer Kenntniss über Osmose skizziren will, so werde ich natürlich nur auf die Arbeiten Rücksicht nehmen, welche in einer hier zu behandelnden Richtung wirklich fördernd waren.

2) Eine ausführliche Zusammenstellung der älteren Literatur bis auf Brücke (incl.) hat Vierordt (Archiv f. physiol. Heilkunde von Roser und Wunderlich V. Jahrg., 1846. p. 479 ff.) gegeben, auf welche ich hiermit verweise. — Ferner ist die Literatur bis zum Jahre 1859 ausführlich, doch nicht sehr kritisch behandelt von Jagielski, im Programm des Gymnasiums zu Trzemeszno für 1859.

3) Mémoires p. servir à l'histoire anatomique et physiologique d. vegétaux et d. animaux. 1837. — Meine Citate beziehen sich auf die Brüsseler Ausgabe. — Ueber frühere Publicationen Dutrochet's gibt Vierordt's citirte Abhandlung Aufschluss.

Digitized by Google

höhe gemessen, dagegen eine quantitative Bestimmung der in die Aussenflüssigkeit übertretenden Menge des gelösten Körpers unterlassen. Wohl aber erkannte Dutrochet wie die Natur der Membran für die diosmotische Bewegung sowohl des Wassers, wie auch des gelösten Körpers massgebend, wie ferner dieser Austausch von Concentration und Temperatur abhängig ist.

Werfen wir jetzt, indem wir zunächst von theoretischen Erklärungen absehen, einen Blick auf die experimentellen Bestrebungen, welche sich nach Dutrochet geltend machten. Nachdem die Untersuchungen von Jerichau, Kürschner, sowie Matteucci und Cima zwar mannigfache Thatsachen, aber wesentlich neues weder in principieller noch methodischer Hinsicht beigebracht hatten, wurde von Vierordt[1]) der Austausch des gelösten Stoffes und des Wassers quantitativ gemessen und zwar mit einem Apparate, welcher wohl grössere Genauigkeit zuliess, als die in der nächstfolgenden Zeit benutzten Endosmometer. Während aber bei Vierordt die Messung als solche, und namentlich die der Wasserbewegung als Hauptsache hervortritt, legte Jolly[2]) den ganzen Werth auf die Bestimmung des Verhältnisses zwischen den sich austauschenden Mengen und bezeichnete bekanntlich den Quotienten aus Salz in die gleichzeitig übergehende Wassermenge als endosmotisches Aequivalent, dessen Ermittelung von nun ab fast ausschliesslich den Vorwurf zahlreicher Arbeiten bildete. Jolly's Ansicht, das endosmotische Aequivalent sei ein namentlich auch von der Concentration unabhängiges Maass, wurde freilich baldigst von Ludwig[3]) widerlegt, wie denn auch andere Untersuchungen, so die von Fick, Schmidt[4]) und Eckhardt in dieser und anderer Hinsicht aufklärend waren. Auf das endosmotische Aequivalent und damit zusammenhängende Fragen einzugehen, ist hier nicht geboten, da jenes aus früher mitgetheilten Gründen in dieser Arbeit keine besondere Berücksichtigung fand. Die speciell auf den osmotischen Wasserstrom hinzielenden Versuche haben, so weit als nöthig, an geeigneter Stelle Erwähnung gefunden, wie denn auch schon angegeben wurde, dass spätere Untersuchungen über

1) Poggendorff's Annalen 1848, Bd. 73, p. 519.

2) Zeitschrift f. rationelle Medicin von Henle und Pfeufer 1848, Bd. VII, p. 83.

3) Ebenda 1849, Bd. VIII, p. 1.

4) Poggendorff's Annalen 1857, Bd. 102, p. 122. Die Arbeiten der anderen Autoren habe ich mehrfach citirt. Weiter wurden z. B. Untersuchungen angestellt von Cloetta, Buchheim, Adrian, Hoffmann, Harzer, Schuhmacher u. a.

Digitized by Google

die Druckhöhe, welche die schon von Dutrochet gewonnenen Resultate erweitern, nicht vorliegen.

Graham, dessen erste Arbeit über Osmose wenig wirklich neues und förderndes bringt[1]), bahnte dann aber mit der Unterscheidung krystalloider und colloidaler Körper und der Feststellung der geringen Diosmose dieser letzteren einen erheblichen Fortschritt an[2]). Man muss sich in der That wundern, dass gestützt hierauf, nicht speciell der Fall aus Ausgangspunkt der Theorie ins Auge gefasst wurde, wo der osmotisch wirkende Körper nicht diosmirt. Thatsächlich wurde letzteres erst von Traube[3]) gethan, dessen Entdeckung der Niederschlagsmembranen einer der wichtigsten, wenn nicht überhaupt der wichtigste Fortschritt seit Entdeckung der Osmose ist.

Die nach vielen Schwankungen endlich geläuterten Anschauungen Dutrochet's über Osmose und deren Ursache, bieten zwar nicht eine tiefere Zergliederung des Phänomens, bringen aber allgemeine Principien zum Ausdruck, deren Gültigkeit wir noch heute anerkennen. Als unerlässliche Vorbedingung für mögliche Diosmose fordert Dutrochet[4]): 1) dass mindestens eine der beiden getrennten Flüssigkeiten Verwandtschaft zur Membran habe und 2) dass sich zwischen beiden Flüssigkeiten Verwandtschaften, welche zur Mischung führen, geltend machen. Weiter, namentlich geleitet durch das entgegengesetzte osmotische Verhalten von Alkohol und Wasser gegen Thierblase und Kautschuk, hebt Dutrochet hervor, dass derjenige Körper in grösster Menge eine Membran durchwandere, welcher die grösste Affinität zur Substanz dieser habe, ferner, dass die sich austauschenden Körper in der Membran nicht etwa getrennt, sondern gemischt enthalten seien.

Das mehr als einmal über Dutrochet's osmotische Untersuchungen gefällte harte Urtheil ist durchaus unbegründet, wenn wir nur die nackten Thatsachen oder auch die zuletzt so klaren Anschauungen dieses Gelehrten zum Maassstab nehmen; das Hin- und Herschwanken von einer Theorie zur anderen steht aber in diesem Falle nicht isolirt, sondern hängt innig mit Dutrochet's geistiger Beanlagung zusammen. Dem gewandten Experimentator und guten Beobachter wurde sein Reichthum an Ideen für nüchternes Zurechtfinden in der Welt der Erscheinungen, bei den osmotischen, wie bei so manchen anderen For-

1) Graham, Philosoph. transact. 1854, Bd. 144, I, p. 178.

2) Annalen d. Chemie u. Pharmacie 1862, Bd. 121, p. 1.

3) Archiv f. Anatomie u. Physiologie von du Bois-Reymond u. Reichert 1867, p. 87. — Botan. Zeitung 1875, p. 56.

4) L. c., p. 58.

Digitized by Google

schungen, öfters ein Hinderniss. Begeistert von einer Idee, welche ihm das Endziel seiner Forschungen und seiner auf das Allgemeine hinausgehenden Gedanken in greifbare Nähe zu rücken schien, eilt der sonst gelegentlich so scharfe Denker öfters über Fragen hinweg, deren kritische Erwägung seinem Gedankenfluge Halt geboten haben würde und wiederholt thatsächlich in späterer Zeit ihn auf den rechten Weg führte, nachdem zuvor richtig Gesehenes in einen unnatürlichen Rahmen gezwängt worden war. Unter solchen Umständen verdient Dutrochet im Einzelnen thatsächlich oft herben Tadel, doch nicht nach diesem Einzelnen, sondern nach den Leistungen im Grossen und Ganzen beurtheilt, wird man in Dutrochet, und ganz speciell in dem Pflanzenphysiologen Dutrochet einen Gelehrten ersten Ranges zu feiern haben.

Nachdem die auf Capillarität fussenden Erklärungen von Poisson und von Magnus[1]) sich baldigst als unzureichend erwiesen hatten, wurde zuerst eine tiefer eindringende und auch noch heute für concrete Fälle ausreichende Theorie von Brücke[2]) aufgestellt. Es ist diese Theorie, wie wir früher hörten, auf eine mit dem Abstand von der Porenwandung variable Grenzschicht gegründet, deren Bildung aus Gemischen von Terpentinöl und Baumöl von Brücke in einem geeigneten Apparate nachgewiesen wurde. Für einfach poröses, nicht quellendes Material gilt auch heute diese Theorie noch ungeschmälert, nur müssen wir hinzufügen, dass die Grenzschicht mit der Concentration variabel, nicht constant ist, wie Brücke und andere nach ihm es anzunehmen scheinen. Dagegen hat Brücke die mit Quellung unvermeidliche Durchmesseränderung des Porus vernachlässigt, namentlich aber die Diosmose durch die Membrantheilchen selbst (die diatagmatische Diosmose) gar nicht in Betracht gezogen.

Ludwig[3]) lieferte dann den Nachweis, dass thierische Blase aus Salzlösung verdünntere Lösung imbibirt, was allerdings für eine aus diluirter Lösung bestehende Grenzschicht (im Sinne Brücke's) spricht, jedoch kein geradezu zwingender Beweis ist, wie Ludwig und andere nach ihm annahmen, da ja Aufnahme von Wasser oder verdünnter Lösung in die Membrantheilchen selbst einen gleichen Erfolg haben würde (p. 40). Ludwig wies bereits auf einige Folgerungen aus der Brücke'schen Theorie hin und bestätigte durch das Experiment die

1) Vergl. Vierordt, l. c., p. 507.

2) Poggendorff's Annalen 1843, Bd. 58, p. 77. — Dieselbe Arbeit erschien als Dissertation 1842.

3) L. c., p. 15. — Bestätigt wurde dieses auch von Cloetta. Diffusionsversuche. Inauguraldissertation. Zürich 1851, p. 21.

Digitized by Google

theoretisch geforderte Aenderung des endosmotischen Aequivalents mit der Concentration.

Später deducirte dann Fick[1]) ausführlich die Consequenzen der Brücke'schen Theorie und wenn auch die von ihm gefundenen Widersprüche zwischen theoretischer Schlussfolgerung und experimentellem Befunde wesentlich auf nicht ganz zutreffender Interpretation beruhen, so hat doch Fick das hohe Verdienst, vielfach Klarheit geschaffen und zuerst die Diosmose durch die Membrantheilchen selbst, neben der Diosmose durch capillare Räume hervorgehoben zu haben[2]). Weshalb wir die solchem verschiedenem diosmotischen Durchgang entsprechende Unterscheidung von Endosmose und Porendiffusion, welche Fick vorschlug, nicht adoptirten, ist früher dargethan worden. Endlich hat Fick[3]) auch zuerst auf die Bedeutung des Bewegungszustandes der Salz- und Wassermolecüle hingewiesen, jedoch diese Bedeutung überschätzt, da die osmotische Bewegung wesentlich durch die zwischen heterogenen Massentheilchen wirkenden Anziehungskräfte und nur ganz untergeordnet durch die lebendige Kraft der Molecüle bedingt ist.

Nachdem die an Brücke's Theorie anknüpfenden und aus dieser hervorgegangenen Anschauungen dargelegt sind, wenden wir uns zu abweichenden Auffassungen zurück, welche Jolly[4]), Liebig[5]) und Graham[6]) vertreten, die darin übereinstimmen, dass eine variable Grenzschicht und überhaupt ungleiche Zusammensetzung der imbibirten Lösung in einer parallel zur Membranfläche genommenen Schicht nicht gefordert wird. Eine solche homogene Imbibition könnte thatsächlich erreicht sein, wenn nur in die Membrantheilchen Wasser oder auch Salzlösung aufgenommen würde. Da aber wohl alle permeable Membranen anderweitige Interstitien besitzen und speciell allen Membranen, welche die genannten Autoren im Auge hatten, Zwischenräume

1) Poggendorff's Annalen 1855, Bd. 94, p. 74 ff.

2) Fick, Moleschott's Untersuchungen zur Naturlehre 1857, Bd. III, p. 296. — Hinsichtlich einiger Einwände Eckhardt's vgl. p. 57. Schuhmacher (Die Diffusion in ihren Beziehungen zur Pflanze. 1861) bringt in theoretischer Beziehung nichts, was specielle Hervorhebung erforderte.

3) Medicinische Physik 1866, II. Aufl., p. 36.

4) L. c., p. 145.

5) Untersuchungen über einige Ursachen der Säftebewegung im thierischen Organismus 1848, namentlich p. 51. — Liebig's Darlegung des osmotischen Bewegungszustandes geht die Klarheit ab, welche man sonst bei dem grossen Gelehrten gewohnt ist. Ich hoffe aber Liebig's Ansicht richtig verstanden zu haben, indem ich mich namentlich an das hielt, was Liebig selbst als wesentlich in einer Nachschrift zu Graham's Arbeit wiedergibt.

6) Annal. d. Chem. u. Pharm. 1862, Bd. 121, p. 75.

Digitized by Google

von erheblicherer Weite zukommen, so sind auch die von Jolly, Liebig und Graham angenommenen Theorien unzureichend, weil sie einen, bei realer Existenz auch mitwirkenden Factor, die variable Grenzschicht, vernachlässigen.

Im übrigen weichen die theoretischen Auffassungen von Jolly, Liebig und Graham mehr in der Form, als im Princip von einander ab. Was letzteres anbelangt, so kommen die Theorien dieser Forscher im wesentlichen darauf hinaus, dass nach Massgabe der wechselseitigen Affinitäten die Membranen Salz und Wasser imbibiren und wenn die Membran Salzlösung und Wasser trennt, die Relation der beiden entgegengesetzten Ströme von dem Imbibitionszustand und der Anziehung zwischen Salz- und Wassertheilchen abhängt. Ein einseitig überwiegender Wasserstrom wird also immer dann zu Stande kommen, wenn beim Eintauchen in Salzlösung eine verdünntere Lösung imbibirt wird. Ob Jolly nur von Anziehung spricht, Liebig und Graham von chemischer Affinität reden, ist natürlich ganz unwesentlich. Hervorzuheben ist aber, dass Jolly nicht die Contraction quellungsfähiger Körper in Salzlösung namhaft macht, während Liebig und Graham gerade den ungleichen Contractionszustand auf den beiden Seiten einer Membran, welche eine Scheidewand zwischen Salz und Wasser bildet, als Motor ansehen. Als Ausdruck für den differenten Salzgehalt existirt allerdings in quellungsfähigem Materiale ein derartiger Contractionszustand, durchaus nothwendig ist derselbe für die osmotische Bewegung aber nicht, da diese auch in nicht quellungsfähigen Scheidewänden zu Stande kommt. Die auf das Verhalten der Colloide sich stützende Annahme Graham's, Diosmose scheine die einseitige osmotische Wasserbewegung (Osmose Graham's) herabzudrücken, war übrigens schon längst als eine Consequenz der Brücke'schen Theorie erkannt, welche sowohl von Liebig, wie von Graham nicht beachtet ist.

Der Umstand, dass durch alle bis dahin angewandten Membranen wenigstens die Krystalloide diosmirten, ist wohl der Grund, warum als Ausgangspunkt für die Theorie nicht der einfachste Fall gewählt wurde, nämlich der, wo der osmotisch wirkende Körper die Membran nicht zu durchwandern vermag. Dieses ist ja auch hinsichtlich der Colloide mit Thierblase und ähnlich wirkenden Membranen gegeben, auch schwebte ein solches Verhalten Graham bei Betrachtung der Osmose vor, ohne dass dasselbe indess von diesem Autor richtig und ausreichend zur Erklärung des Vorganges verwandt wurde. Erst mit der Entdeckung der Niederschlagsmembranen durch Traube lag die

Digitized by Google

unbedingte Nothwendigkeit vor, die osmotische Leistung nicht diosmirender Stoffe näher ins Auge zu fassen. Mit diesen Niederschlagsmembranen waren auch zuerst Häute gewonnen, welchen bei gleichartiger Beschaffenheit zugleich osmotische Eigenschaften zukamen, die ausserhalb des Organismus bis dahin keine andere Membran dargeboten hatte.

Bildung und Wachsthum der Niederschlagsmembranen wurde der Hauptsache nach in klarster Weise von Traube[1]) sogleich erledigt, der auch verschiedene Membranen auf ihre Durchlässigkeit für bestimmte Stoffe prüfte und hierbei schon auf die relativ geringe Wasserbewegung aufmerksam wurde, welche Colloide hervorrufen. In der theoretischen Erklärung des factischen diosmotischen Verhaltens hat aber Traube[2]) wesentlich gefehlt. Indem er die zwischen Membran einerseits und gelöstem Körper und lösendem Medium andererseits wirkenden Molecularkräfte vernachlässigte, kam dieser Gelehrte zu der unrichtigen Anschauung, die Membran wirke einfach wie ein Sieb und demgemäss könne aus Durchtritt und Nichtdurchtritt verschiedener Stoffe ein relatives Maass für die Grösse der in Lösung bestehenden Molecüle gewonnen werden[3]). Die Vernachlässigung der fraglichen Molecularkräfte bringt auch eine nicht zutreffende Ansicht über die osmotische Leistung mit sich, welche zwar, wie es Traube annimmt, durch Anziehung zwischen lösendem Medium und gelöstem Körper bedingt ist, aber ihrer Ausgiebigkeit nach, was Traube übersieht, von der Constitution der Diffusionszone wesentlich abhängt.

17. Experimentelle Belege.

Im Folgenden sind diejenigen Versuche zusammengestellt, von welchen im Text dieser Abhandlung nur das endliche Ergebniss mitgetheilt wurde. Alle Versuchsreihen von Nr. I bis Nr. XV (incl.) sind mit Ferrocyankupfermembranen angestellt; bei den folgenden Nummern ist die Qualität der Membran speciell angegeben worden.

---

1) L. c. 1867, p. 131 ff.

2) L. c., 1867, p. 147. — Die gänzliche Vernachlässigung der von der Membran ausgehenden Molecularkräfte muss um so mehr Wunder nehmen, als Traube (p. 150 Anmerkung) auf das Verhalten des Kautschuks hinweist, das ja gegenüber den diosmotischen Eigenschaften von Thierblase den Einfluss der Membran in so schlagender Weise demonstrirt.

3) Moleculargewicht und Moleculargrösse (Traube sagt unrichtig Atomgewicht und Atomgrösse) gelöster Körper stehen übrigens bei verschiedenen Körpern auch deshalb nicht in demselben Verhältniss, weil sich Molecüle zu Tagmen aggregiren können.

Digitized by Google

Messungen des osmotischen Wasserstromes.

Die angewandte Methode ist früher (p. 14) dargelegt worden und theile ich hier nur das zur näheren Erläuterung der Versuche Nothwendige mit. Ob die Experimente ohne, wie es meist der Fall war, oder mit Membranogenen angestellt wurden, ist bei den einzelnen Versuchsreihen bemerkt. Ebenso ist hier die wirksame Fläche der Niederschlagsmembran angegeben, wenn diese bestimmt wurde, was einfach durch Berechnung aus Durchmesser und Höhe der von der Membran bedeckten Fläche geschah. Ich konnte mich mit diesem allerdings nur ganz annäherndem Maasse vollkommen begnügen, da ja Dicke der Membran und andere auf die Wasserbewegung influirende Factoren unbestimmt blieben.

Die Angaben der beiden, am oberen und unteren Ende der Zelle (incl. der Verschlussstücke) endenden Thermometer, differirten bei den verschiedenen Versuchsreihen um 0,1 bis 0,3°C., doch wurde auf Constanz dieser Differenz in einer einzelnen vergleichenden Versuchsreihe genau geachtet. Der Einfachheit halber ist im Folgenden immer nur das Mittel aus diesen beiden Temperaturen angegeben worden.

Da in jeder Versuchsreihe die Temperatur constant war und die Relation der osmotischen Wasserströme bei nicht weit auseinanderliegenden Wärmegraden jedenfalls nur in unmerkbarer Weise sich ändert, so sind die bei nicht ganz gleicher Temperatur gewonnenen Resultate commensurabel, sobald sie auf dieselbe Einheit reducirt wurden. Die Versuche wurden, wie auch die Druckmessungen, in stark diffusem Licht oder in Dunkelheit ausgeführt.

Bei der geringen Menge des in einem Versuche in die Zelle geführten Wassers, nimmt die Concentration des Inhaltes nicht in zu beachtender Weise ab und, trotz gleichzeitiger Diosmose, konnte für Salpeter keine Erniedrigung des specifischen Gewichtes der Lösung gefunden werden. Es ist deshalb in den Tabellen die Bestimmung des specifischen Gewichtes nicht weiter erwähnt worden.

Zum Schluss einer Versuchsreihe wurde eine Controlbestimmung mit gleicher Lösung, wie zu Anfang, gemacht und hatte sich die Intensität der Wasserbewegung geändert, so ist (gewöhnlich) das Mittel aus beiden Bestimmungen als Maass für die Vergleichung mit den für andere Lösungen gefundenem Werthe genommen worden. Dieses an sich nicht ganz correcte Verfahren bietet jedoch, der geringen Differenzen halber, eine für unsere Messungen ausreichende Genauigkeit dar und

Digitized by Google

dies um so mehr, als bei vergleichenden Versuchen mit verschiedenen Lösungen die Experimente öfters in gerade umgekehrter Reihenfolge angestellt wurden. Wenn diese nicht zusammenfällt mit der von oben nach unten gezählten Zusammenstellung der Versuchsresultate, so ist die umgekehrte Richtung in welcher die Experimente angestellt wurden, durch einen neben der tabellarischen Zusammenstellung stehenden Pfeil angedeutet (z. B. Nr. I, B.).

In Columne c ist die Concentration nach Gewichtsprocenten angegeben. In z ist die Zeitdauer eines Versuches verzeichnet, aus welchem die unter h stehenden pro Stunde berechneten Werthe gewonnen sind, welche die in Mm. ausgedrückte Erhebung der Flüssigkeitssäule im Messrohr angeben. In e sind die Mittelwerthe der Columne h auf diejenige Einheit reducirt, welche in der Ueberschrift der Verticalreihe angegeben ist. — Mit $\frac{e}{c}$ ist der entsprechende Quotient aus Concentration in Gew.-Proc. in die auf eine Einheit reducirten Einstromswerthe bezeichnet. Endlich steht unter $\frac{e}{c.\,s}$ der analoge auf Volumprocente bezogene Quotient, denn $c.\,s$ (s = specif. Gewicht der Lösung) ergibt ja die Concentration einer Lösung nach Volumprocenten.

Nr. I.

Versuche mit Rohrzucker.

Sämmtliche Versuchsreihen *A*—*D* sind mit verschiedenen Zellen angestellt.

A.

c Concentration in Gew.-Proc.	z Versuchsdauer	h Berechnet pr. Stunde	e $\frac{1,8 + 1,6}{2} = 1$
1 Proc.	3 Std.	1,8 Mm.	
2 -	$1^1/_2$ -	3,6 -	2,1
6 -	1 -	10,1 -	5,9
10 -	$^3/_4$ -	19,8 -	11,6
20 -	$^3/_4$ -	43,4 -	25,5
1 -	$2^1/_2$ -	1,6 -	

Temperatur 15,1° C. — Ohne Membranogene. — Grösse der Membranfläche = 16,1 Qu.-Ctm.

B.

c Concentration in Gew.-Proc.	z Versuchsdauer	h Berechnet pr. Stunde	e $\frac{2+ 1,8}{2} = 1$
1 Proc.	3 Std.	2,0 Mm.	
2 -	$2^1/_2$ -	3,5 -	1,8
6 -	1 -	10,7 -	5,6
1 -	$2^1/_2$ -	1,8 -	

Temp. = 17,6° C. — Mit Membranogenen. — Membranfläche = 16,9 Qu.-Ctm.

Digitized by Google

C.

c Concentration in Gew.-Proc.	*z* Versuchsdauer	*h* Berechnet pr. Stunde	*e* 1,8 = 1
1 Proc.	3 Std.	1,8 Mm.	
6 -	$1^1/_2$ -	10,5 -	5,8
1 -	$3^1/_2$ -	1,8 -	

Temp. 17,3° C. — Ohne Membranogene.

D.

c Concentration in Gew.-Proc.	*z* Versuchsdauer	*h* Berechnet pr. Stunde	*e* $\frac{2,1+2,0}{2}=2$
2 Proc.	3 Std.	2,1 Mm.	
16 -	1 -	20,5 -	20,0
32 -	$^3/_4$ -	49,6 -	48,4
2 -	2 -	2,0 -	

Temp. 15,2° C. — Ohne Membranogene. — Membranfläche = 15,1 Qu.-Ctm.

E.

Die unter »*e* Mittelwerthe« stehenden Zahlen sind die aus den Versuchsreihen *A* bis *D* abgeleiteten Mittelwerthe.

c Concentration in Gew.-Proc.	*e* Mittelwerthe	$\frac{e}{c}$	$\frac{e}{c.s}$
1 Proc.	1	1	1
2 -	1,95	0,98	0,97
6 -	5,77	0,96	0,94
10 -	11,6	1,16	1,11
16 -	20,0	1,25	1,17
20 -	25,5	1,27	1,17
32 -	48,4	1,54	1,35

Das specif. Gew. d. Zuckerlösung bei 17,5° C. ist für: $1\%=1,004$; $2\%=1,008$ $6\%=1,024$; $10\%=1,0404$; $16\%=1,0657$; $20\%=1,0832$; $32\%=1,1391$.

Nr. II.

Versuche mit Gummi arabicum.

Bei 100° C. getrocknetes arabisches Gummi wurde auf Lösung von bestimmten Gehalt gebracht, aus welcher dann die Lösungen von der unten verzeichneten Concentration dargestellt wurden. Die benutzten Zellen waren solche, die bei relativ grosser Membranfläche möglichst dünne Niederschlagsmembran besassen. Beide Versuche wurden ohne Membranogene ausgeführt.

Digitized by Google

A.

c Concentration in Gew.-Proc.	*z* Versuchsdauer	*h* Berechnet pr. Stunde	*e* 0,6 = 1
1 Proc.	6 Std.	0,6 Mm.	1
6 -	2½ -	2,25 -	3,7-
18 -	1 -	10,3 -	17,2

Temp. 15,1°C. — Membranfläche = 17,1 Qu.-Ctm.

B.

c Concentration in Gew.-Proc.	*z* Versuchsdauer	*h* Berechnet pr. Stunde	*e* 0,65 = 1
18 Proc.	1 Std.	10,2 Mm.	15,7
6 -	2½ -	2,3 -	3,5
1 -	5½ -	0,65 -	1
18 -	1 -	10,4 -	

Temp. 15,5°C. — Membranfläche = 17,5 Qu.-Ctm.

C.

Mittelwerthe aus *A* und *B*.

c Concentration in Gew.-Proc.	*e* Mittelwerthe aus A und B	$\frac{e}{c}$	$\frac{e}{c.s}$
1 Proc.	1	1	1
6 -	3,6	0,60	0,58
18 -	16,45	0,91	0,84

Das specifische Gewicht dieser Gummilösungen ist: 1% = 1,004; 6% = 1,025; 18% = 1,078.

Aus 2 Versuchen mit denselben Zellen mit 1procentigen Lösungen ergab sich, dass, die osmotische Wasserbewegung des Zuckers = 1 gesetzt, die des Gummis = 0,14 ist.

Nr. III.

Versuche mit Salpeter.

A.

c Concentration in Gew.-Proc.	*z* Versuchsdauer	*h* Berechnet pr. Stunde	*e* $\frac{4,6+4,2}{2} = 1$
1 Proc.	2 Std.	4,6 Mm	
2 -	1½ -	7,5 -	1,75
4 -	1 -	15,0 -	3,41
1 -	2 -	4,2 -	

Temp. 13,9°C. — Mit Membranogen en.

Digitized by Google

B.

c Concentration in Gew.-Proc.	*z* Versuchsdauer	*h* Berechnet pr. Stunde	*e* $\frac{4,9+5,1}{2}=1$
1 Proc.	2 Std.	4,9 Mm.	
2 -	1½ -	8,2 -	1,64
4 -	1 -	16,5 -	3,3
1 -	2 -	5,1 -	

Temp. 14,1° C. — Ohne Membranogene. — Membranfläche = 15,4 Qu.-Ctm.

C.

c Concentration in Gew.-Proc.	*z* Versuchsdauer	*h* Berechnet pr. Stunde	*e* $\frac{7,2+7,0}{2}=1$
1 Proc.	1½ Std.	7,2 Mm.	
2 -	1 -	14 -	1,97
4 -	1 -	25,1 -	3,53
8 -	¾ -	45,9 -	6,46
18 -	½ -	83,0 -	11,69
1 -	1½ -	7,0 -	

Temp. 17,4° C. — Ohne Membranogene. — Membranfläche = 17,1 Qu.-Ctm.

D.

Mittelwerthe aus *A*—*C*.

c Concentration in Gew.-Proc.	*e* Mittel aus A bis C	$\frac{e}{c}$	$\frac{e}{c.s}$
1 Proc.	1	1	0,99
2 -	1,79	0,89	0,88
4 -	3,41	0,85	0,83
8 -	6,46	0,81	0,77
18 -	11,69	0,66	0,59

Die specif. Gew. der Lösungen sind: 1% = 1,006; 2% = 1,013; 4% = 1,025; 8% = 1,051; 18% = 1,123.

Nr. IV.

Versuch mit Kalisulfat.

c Concentration in Gew.-Proc.	*z* Versuchsdauer	*h* Berechnet pr. Stunde	*e* 7,0 = 1	$\frac{e}{c}$
1	1½ Std.	7,0 Mm.	1	1
4	1 -	23,2 -	3,31	0,83
1	1½ -	7,0 -		

Temp. 15,8° C. — Ohne Membranogene.

Digitized by Google

Nr. V.

Versuche mit 1procentigen Lösungen von Zucker, Kalisulfat und Salpeter.

Versuch *B* wurde mit Kalisulfat begonnen und beendet und aus den gefundenen Werthen 9,8 und 9,6 der verzeichnete Werth 9,7 Mm. als Mittel genommen. — Die Versuchsdauer war bei Kalisulfat und Salpeter $1^1/_2$ Stunde, bei Zucker 2 und $2^1/_2$ Stunde.

	A.		*B.*		
	h Berechnet pr. Stunde	*e* Zucker = 1	*h* Berechnet pr. Stunde	*e* Zucker = 1	*e* Mittel aus A und B
Zucker	1,9 Mm.				1
Kalisulfat	8,3 -	4,37	9,7 Mm.	4,41	4,39
Salpeter	8,7 -	4,58	10,2 -	4,64	4,61
Zucker	1,9 -		2,2 -		
	Temp. 15,7°C. — Ohne Membranogene.		Temp. 15,1° C. — Ohne Membranogene.		

Filtration unter Druck.

Hinsichtlich der angewandten Methode vgl. p. 17. An diesem Orte sind auch die Correctionen bezeichnet, unter deren Beachtung aus dem mittleren Stand der Quecksilbersäule der in *d* verzeichnete wirksame Mitteldruck berechnet wurde. In Columne *h* stehen die Zeiten, innerhalb welcher die unter *r* in Mm. angeführte Senkung der Quecksilbersäule im Druckrohr beobachtet wurde. Aus dieser Senkung wurde mit Hülfe der entsprechenden Calibrirungswerthe die Filtrationsmenge berechnet, welche auf 1 Stunde reducirt und in Cub.-Mm. ausgedrückt in *f* angeführt ist. Der Quotient $\frac{f}{d}$, sowie die in Columne *m* vorgenommene Reduction sind durch die Ueberschriften gekennzeichnet. Die beiden folgenden Versuchsreihen sind mit verschiedenen Zellen ausgeführt.

Nr. VI.

A.

d Mitteldruck	*h* Versuchsdauer	*r* Senkung des Hg.	*f* Filtrationsmenge pr. Stunde	$\frac{f}{d}$	$\frac{m}{\frac{0{,}0942+0{,}0927}{2}=1}$
111,5 Ctm.	2 Std.	9,5 Mm.	10,5 Cb.-Mm.	0,0912	1,009
71,3 -	3 -	9,5 -	6,54 -	0,0917	0,982
37,8 -	6 -	8,7 -	3,52 -	0,0934	1,000
112,2 -	2 -	9,3 -	10,3 -	0,0927	0,992

Temp. d. Flüssigkeit in der Cüvette 14,0°C. — Temp. der Luft neben dem Steigrohr oben = 15,1 bis 15,7°C., unten 14,7 bis 15,2° C. — Barometer schwankte während der Versuchsdauer nur um 1 Mm. — Membranfläche = 16,5 Qu.-Ctm. Ohne Membranogene.

Digitized by Google

B.

d Mitteldruck	h Versuchsdauer	r Senkung des Hg.	f Filtrationsmenge pr. Stunde	$\frac{f}{d}$	$\frac{m}{\frac{0{,}0880+0{,}0841}{2}=1}$
210,2 Ctm.	$1^1/_2$ Std.	15,9 Mm.	18,5 Cb.-Mm.	0,0880	1,023
85,1 -	5 -	18,3 -	7,56 -	0,0888	1,033
208,0 -	$1^1/_2$ -	15,0 -	17,5 -	0,0841	0,978

Temp. der Cüvettenflüssigkeit 13,5°C. — Lufttemperatur neben Steigrohr oben = 14,6 bis 15,0°C., unten 14,2 bis 14,7°C. — Barometerschwankung während des Versuches 0,5 Mm. Membranfläche = 15,4 Qu.-Ctm. Ohne Membranogene.

Aus *A* und *B* sind die in Tabelle 6 auf Seite 71 zusammengestellten Zahlen combinirt (aus Columne *d* und *m*).

Messungen der Druckhöhe.

Die angewandte Methode und Berechnung ist Seite 20 mitgetheilt. Es ist hier auch die Bedeutung von v^0, V, S und O nachzusehen: von v^0 habe ich in der folgenden Zusammenstellung den Briggischen Logarithmus angegeben. Die Temperatur von V wurde, wie auch an dem angegebenen Orte zu ersehen ist, durch das Thermometer gemessen, dessen Quecksilbergefäss in der Cüvettenflüssigkeit in mittlerer Höhe des lufterfüllten Theiles des Manometers eingestellt war. Die Temperaturangabe dieses Thermometers differirte gewöhnlich um 0,1—0,3°C. gegenüber dem tiefer eingesenkten, gegen das untere Ende der Zelle hin endenden Thermometer. Da indess diese Differenz während der endlichen massgebenden Ablesungen constant erhalten wurde und da geringe Temperaturunterschiede auf die osmotische Druckhöhe keinen messbaren Einfluss haben, so war eine specielle Angabe der an dem tiefer eingesenkten Thermometer abgelesenen Grade unnöthig und kann die Temperatur der im Manometer eingeschlossenen Luft auch als Temperatur des Zellinhaltes ohne weiteres angesehen werden.

Die einzelnen Versuche sind in einer Versuchsreihe immer in derselben Ordnung angeführt, wie sie ausgeführt wurden.

Nr. VII.

Druckhöhe für Rohrzuckerlösung verschiedener Concentration.

Die beiden Versuchsreihen *A* und *B* sind mit verschiedenen, jede aber mit derselben Zelle durchgeführt. Die Einzelversuche sind in der Reihenfolge verzeichnet, wie sie angestellt wurden.

Digitized by Google

A

Die Membranogenlösung enthielt, wie immer, 0,1 Proc. Ferrocyankalium und 0,09 Proc. Kupfernitrat (p. 25), nur in Versuch 2 hatte dieselbe doppelte Concentration, also 0,2 resp. 0,18 Proc. In Versuch 4 war durch ein Versehen eine Zuckerlösung von unbekannter Concentration, aber mit dem üblichen Gehalt an Ferrocyankalium genommen worden. Auf optischem Wege (p. 30) und durch Ermittlung des specifischen Gewichts, wurde der Gehalt der benutzten Lösung zu 2,74 Proc. Rohrzucker bestimmt. Das specifische Gewicht der Zuckerlösung ergab sich nach Beendigung der Versuche als unverändert, nur bei dem Experimente mit der 6procentigen Lösung war eine Verminderung um 2 in der 4. Decimale eingetreten, was indess nicht weiter berücksichtigt wurde.

Nr.	*c* Concentration in Gew.-Proc.	log. v^0	*V*	Temp. von *V*	*S*	*O* Druckhöhe
1	1 Proc.	4,10489	108,1 Mm.	13,7° C.	69,9 Ctm.	53,8 Ctm.
(2	1 -	- -	107,7 -	13,6 -	70,9 -	53,2 -)
3	2 -	- -	79,4 -	14,0 -	67,0 -	101,6 -
(4	2,74 -	- -	61,6 -	13,5 -	65,1 -	151,8 -)
5	4 -	4,10519	49,2 -	13,8 -	63,8 -	208,2 -
6	6 -	- -	36,3 -	14,7 -	62,4 -	307,5 -
7	1 -	- -	108,8 -	14,6 -	69,8 -	53,5 -

Membranfläche = 17,1 Qu.-Ctm.

B.

Das specifische Gewicht wurde für beide Lösungen nach dem Gebrauche unverändert gefunden.

c Concentration in Gew.-Proc.	log. v^0	*V*	Temp. von *V*	*S*	*O* Druckhöhe
1 Proc.	4,12026	119,3 Mm.	16,1° C.	69,9 Ctm.	47,2 Ctm.
6 -	- -	42,1 -	15,4 -	63,1 -	267,9 -

Aus *A* und *B* ist Tabelle 9 auf Seite 81 combinirt, indem die für 1procentige Zuckerlösungen gefundene Druckhöhe (oder der Mittelwerth dieser) sowohl in *A* als in *B* = 1 gesetzt wurde. Als Mittel dieser auf commensurable Einheit reducirten relativen Werthe wurde die Columne *M. O* genannter Tabelle gewonnen.

Nr. VIII.

Druckhöhe für Gummi arabicum.

Die benutzten Lösungen waren gleichzeitig, aus demselben Materiale und in ganz gleicher Weise dargestellt, wie diejenigen, welche zur

Digitized by Google

Bestimmung der osmotischen Wasserbewegung dienten (Nr. II). Beide, mit 2 verschiedenen Zellen angestellte Versuchsreihen *A* und *B*, wurden in üblicher Weise mit Membranogenen durchgeführt, bis auf die eingeklammerten mit 18procentiger Lösung angestellten Versuche, bei denen die Membranbildner ganz weggelassen waren. — Das specif. Gewicht änderte sich im Laufe eines Versuches nicht. — Die mit offenem Manometer angestellten Versuche sind durch die Ueberschrift gekennzeichnet.

A.

	c Concentration in Gew.-Proc.	log. r^0	*V*	Temp. von *V*	*S*	*O* Druckhöhe
Zucker	1 Proc.	4,11492	111,6 Mm.	15,2° C.	70,6 Ctm.	52,6 Ctm.
Gummi	1 -	4,12089	168,2 -	16,1 -	75,9 -	7,2 -
- -	6 -	- -	142,3 -	16,1 -	72,0 -	26,3 -
- -	18 -	- -	75,9 -	15,7 -	64,3 -	119,7 -
(- -	18 -	- -	75,6 -	15,6 -	64,3 -	120,4 -)
Zucker	1 -	4,11492	112,6 -	16,6 -	70,0 -	52,7 -

Mit offenem Manometer.

	O	Temp.
1 Proc.	7,1 Ctm.	15,0° C.
6 -	28,7 -	15,7 -

Membranfläche = 16,9 Qu.-Ctm.

B.

	c Concentration in Gew.-Proc.	log. v^0	*V*	Temp. von *V*	*S*	*O* Druckhöhe
Zucker	1 Proc.	4,12089	117,0 Mm.	15,8° C.	71,3 Ctm.	48,1 Ctm.
Gummi	6 -	4,11492	143,6 -	15,9 -	71,4 -	24,6 -
- -	18 -	- -	74,6 -	15,5 -	65,7 -	118,9 -
(- -	18 -	- -	75,0 -	15,6 -	65,6 -	118,0 -)

Mit offenem Manometer.

	O	Temp.
1 Proc.	6,7 Ctm.	15,4° C.
6 -	24,0 -	15,3 -

Membranfläche = 17,0 Qu.-Ctm.

Aus *A* und *B* ist Tabelle 10 (p. 81) in ganz analoger Weise zusammengestellt, wie Tabelle 9 aus *A* und *B* in Nr. VII.

Setzt man in *A* und *B* die Druckhöhe 1procentiger Gummilösung = 1, so stellt sich die 1procentiger Zuckerlösung nach *A* auf 7,41, nach

Digitized by Google

B auf 7,18. Im Mittel ist also das Verhältniss der durch 1procentige Lösungen erzeugten Druckhöhe:

Gummi = 1 oder 0,138
Zucker = 7,29 oder 1,00.

Nr. IX.

Versuche mit Zucker, Dextrin, Kalisulfat und Salpeter.

Diese Versuche sind zur Ermittlung der durch 1procentige Lösungen genannter Stoffe erzeugten Druckhöhe angestellt. Von dem diosmirenden Salpeter wurde einmal eine Lösung von 1,05 Proc., das anderemal von 1,07 Proc. Gehalt eingefüllt und die Concentration am Ende des Versuches aus dem specif. Gewicht ermittelt. Die zur Füllung benutzten Lösungen von Kalisulfat enthielten 1, resp. 1,01 Proc. dieses Salzes. Bei den anderen Körpern trat im Laufe des Versuches eine Verminderung des specif. Gewichtes nicht ein. Da wo die Endconcentration nicht 1 Procent betrug, ist für diese die Druckhöhe unter Annahme von Proportionalität zwischen Druckhöhe und Concentration berechnet und in der letzten Columne verzeichnet worden. Da das beiderseitige Verhältniss allerdings ein anderes, aber nicht genau bekanntes ist, so wurde freilich bei dieser Berechnung ein Fehler begangen, der indess bei der geringen Abweichung von 1 Proc. nur gering sein kann.

Das Dextrin war als chemisch rein von der Fabrik bezeichnet. Da ich es aber nicht einer speciellen Reinigung unterwarf, so kann ich nur sagen, dass Traubenzucker, wenn überhaupt darin vorhanden, jedenfalls nur in minimaler Menge zugegen war.

Der durch 4procentige Zuckerlösung erzeugte osmotische Wasserstrom wurde vor Beginn dieser Versuchsreihe und gleich nach Herstellung der Zelle p. Stunde zu 11,6 Mm., nach Beendigung der verzeichneten Versuche zu 5,1 Mm. gefunden, hatte sich also, wahrscheinlich zum guten Theil durch Verstopfung, um mehr als die Hälfte vermindert, ohne dass die mit Zuckerlösung gemessene Druckhöhe eine Aenderung erfahren hatte. Die Versuche wurden zwischen 2. u. 14./3. 76 ausgeführt.

	Concentrat. in Gew.-Proc.	log. v^0	V	Temp. von V	S Ctm. Hg.	O Druckhöhe	O berechnet f. 1proc. Lösg.
R.-Zucker	1,00 Proc.	4,12011	117,3 Mm.	15,9°C.	71,8Ctm.	47,1Ctm.	
Dextrin	1,00 -	- -	152,2 -	15,6 -	75,0 -	16,6 -	
Salpeter	0,98 -	- -	58,2 -	15,8 -	64,7 -	174,9 -	178,4Ctm.
Kalisulfat	0,98 -	- -	55,1 -	16,1 -	64,6 -	188,8 -	192,6 -
Salpeter	1,01 -	4,14497	58,6 -	16,1 -	63,3 -	175,0 -	173,3 -
Kalisulfat	1,00 -	4,12041	54,9 -	15,5 -	62,1 -	191,9 -	
Zucker	1,00 -	- -	119,3 -	16,0 -	69,9 -	47,2 -	

Membranfläche = 17,0 Qu.-Ctm.

Digitized by Google

Die Tabelle 8 (p. 75) ist gewonnen, indem das Mittel aus den für 1procentige Lösungen bestimmten Druckhöhen genommen wurde. Dieser Tabelle ist ausserdem noch die relative Druckhöhe des Gummis nach dem in Versuchsreihe VIII gefundenen Werthe eingereiht, nach welchem diese Druckhöhe = 47,1 . 0,138 = 6,5 Ctm. zu setzen ist.

Nr. X.

Versuche mit Salpeter.

In diesem Falle wurden Lösungen von resp. 1, 2 und 4 Proc. Gehalt eingefüllt und dann die durch Diosmose verminderte Concentration aus dem specifischen Gewichte ermittelt. Die ungleiche Abnahme der Concentration erklärt sich zum guten Theil aus der verschiedenen Zeitdauer der einzelnen Versuche. Ausgeführt wurde diese Versuchsreihe zwischen 9. und 19./1. 1876.

c Concentration in Gew.-Proc.	log. v^0	V	Temp. von V	S	O Druckhöhe
0,80 Proc.	4,10489	67,4 Mm.	13,2°C.	67,6 Ctm.	130,4 Ctm.
1,43 -	- -	46,9 -	12,9 -	65,7 -	218,5 -
3,3 -	- -	26,7 -	13,0 -	62,7 -	436,8 -
0,86 -	- -	62,1 -	12,6 -	66,9 -	147,5 -

Aus obigen Werthen ist Tab. 11 auf Seite 82 abgeleitet.

Druckhöhe bei Temperaturschwankungen.

Die einzelnen Versuchsreihen, welche in Nr. XI bis XV verzeichnet sind, wurden ausgeführt, indem die Zelle, resp. die ganze Cüvette, erwärmt oder abgekühlt und die den Temperaturen entsprechenden Druckhöhen in üblicher Weise berechnet wurden. Durch Bestimmung des specifischen Gewichtes der Lösung wurde auch hier die eventuelle Veränderung der Concentration ermittelt, welche durch Diosmose während der Dauer einer Versuchsreihe eingetreten war.

Nr. XI.

Versuche mit 1procentiger Rohrzuckerlösung.

Die Constanz des specifischen Gewichtes und der Rückgang der Druckhöhe auf die anfängliche Grösse (mit Herstellung gleicher Temperatur) zeigen, dass Zucker im Laufe der 5 bis 12 Tage, welche eine einzelne Versuchsreihe in Anspruch nahm, nicht merklich diosmirte.

Digitized by Google

A.

Temperatur 13,5 bis 32,0°C.

log. v^0	V	Temp. von V	S	O Druckhöhe
4,15130	120,8 Mm.	13,5°C.	72,0 Ctm.	51,1 Ctm.
- -	125,6 -	32,0 -	71,6 -	54,4 -
- -	122,6 -	14,8 -	70,9 -	50,9 -

B.

Temperatur 6,8 bis 22,0°C.

log. v^0	V	Temp. von V	S	O Druckhöhe
4,10489	107,8 Mm.	13,2°C.	71,7 Ctm.	52,1 Ctm.
- -	107,8 -	22,0 -	72,8 -	54,8 -
- -	108,0 -	13,8 -	71,6 -	52,2 -
- -	108,1 -	6,8 -	70,2 -	50,5 -
- -	108,3 -	14,2 -	70,6 -	53,1 -

C.

Temperatur 15,1 bis 36,0°C.

log. v^0	V	Temp. von V	S	O Druckhöhe
4,11751	113,0 Mm.	15,9°C.	70,5 Ctm.	52,1 Ctm.
- -	116,3 -	36,0 -	70,8 -	56,7 -
- -	113,2 -	15,1 -	70,2 -	52,0 -

Die Resultate dieser mit 3 verschiedenen Zellen angestellten Versuchsreihen sind in Tabelle 12 (p. 85) zusammengestellt.

Nr. XII.

Versuchsreihe mit 14procentiger Lösung von arabischem Gummi.

Da diese Gummilösung nicht aus derselben Waare hergestellt war, welche zu den unter Nr. II und Nr. VIII mitgetheilten Versuchen diente, so sind auch die dort und hier gewonnenen Werthe nicht commensurabel. Diese Versuchsreihe wurde zwischen 13. und 19./4. 1876 ausgeführt.

Temperatur 13,3 bis 36,7°C.

log. v^0	V	Temp. von V	S	O Druckhöhe
4,12059	98,3 Mm.	13,3°C.	70,9 Ctm.	69,9 Ctm.
- -	105,2 -	36,7 -	69,9 -	72,4 -
- -	100,7 -	13,3 -	68,9 -	68,6 -

Digitized by Google

Nr. XIII.

Versuch mit gesättigter Weinsteinlösung.

Vgl. Seite 88.

Temperatur 13,0 und 29,2° C.

log. v^0	V	Temp. von V	S	O Druckhöhe
4,12171	100,2 Mm.	13,0° C.	70,0 Ctm.	68,3 Ctm.
- -	79,7 -	29,2 -	68,0 -	115,8 -

Nr. XIV.

Versuche mit Tartarus natronatus.

Siehe Seite 91.

A.

Eingefüllt wurde eine Lösung, welche 1 Proc. von obigem Salze enthielt. Bei Schluss des Experimentes (nach 8 Tagen) war die Concentration auf 0,94 Proc. gesunken.

log. v^0	V	Temp. von V	S	O Druckhöhe
4,14877	69,2 Mm.	13,3° C.	65,8 Ctm.	147,6 Ctm.
- -	72,0 -	36,6 -	65,5 -	156,4 -

B.

Die eingefüllte Lösung enthielt 0,6 Proc. Tartar. natronatus. Die Concentration bei Schluss des Versuches (nach 7 Tagen) wurde nicht direct bestimmt, kann sich aber, wie die Druckhöhe zeigt, nicht viel vermindert haben.

log. v^0	V	Temp. von V	S	O Druckhöhe
4,12171	85,4 Mm.	12,4° C.	70,4 Ctm.	91,6 Ctm.
- -	89,6 -	37,3 -	69,6 -	98,3 -
- -	87,3 -	14,2 -	69,5 -	90,0 -

Nr. XV.

Zucker-Chlornatrium.

Siehe Seite 92.

Von beiden Stoffen wurden der Zusammensetzung des krystallisirenden Doppelsalzes ($C^{12}H^{22}O^{11} + NaCl$) entsprechende Mengen aufgelöst, so dass die Lösung in 100 Gramm enthielt 1 Gramm Rohrzucker und 0,171 Gramm Kochsalz. Die Ausführung des Experimentes nahm 3 Tage in Anspruch; das specif. Gewicht wurde nach Beendigung nicht bestimmt.

Digitized by Google

log. v^0	V	Temp. von V	S	O Druckhöhe
4,11751	72,4 Mm.	14,5°C.	67,0 Ctm.	123,6 Ctm.
- -	76 -	37,9 -	67,1 -	129,2 -
- -	74,1 -	15,0 -	65,9 -	120,7 -

Versuche mit Membranen aus Berlinerblau und Calciumphosphat.

Nr. XVI.

Messung der Druckhöhe in Berlinerblaumembran für 1procentige Lösungen von Rohrzucker.

Die beiden hier zusammengestellten Versuche sind mit zwei verschiedenen Zellen ausgeführt. Ueber die Concentration der Membranogene vgl. p. 28. Das specifische Gewicht der Lösung hatte sich während eines Versuches nicht geändert.

log. v^0	V	Temp. von V	S	O Druckhöhe	Mittel
4,11751	125,3 Mm.	13,2°C.	72,4 Ctm.	37,3 Ctm.	38,7 Ctm.
- -	122,3 -	13,9 -	72,4 -	40,2 -	

Nr. XVII.

Messung der Druckhöhe in Calciumphosphatmembran für 1procentige Rohrzuckerlösung.

Die zum osmotischen Gleichgewicht nöthige Concentration der Membranbildner-Lösung wurde nur relativ, d. h. mit Bezug auf Lösungen bestimmt, deren Gehalt nicht genau ermittelt war. Uebrigens sind für 0,1 Proc. Chlorcalcium nahezu 0,4 Proc. gewöhnliches phosphorsaures Natron nothwendig. Das specifische Gewicht der eingefüllten Lösung änderte sich während des Versuches nicht.

log. v^0	V	Temp. von V	S	O Druckhöhe
4,12171	127,7 Mm.	15,2°C.	73,3 Ctm.	36,1 Ctm.

Mit derselben Zelle wurde für eine mit etwas Kali hergestellte 2procentige Conglutinlösung mit offenem Manometer eine Druckhöhe von 3,8 Ctm. bei 17,9°C. gefunden. Vgl. p. 74.

Versuche mit Pergamentpapier und Thierblase.

Die Ausführung der Versuche geschah mit dem auf Seite 13 angegebenen Apparat und wurden die Druckhöhen mit offenem Manometer gemessen. Um bei Schluss des Versuches nahezu 6procentige Lösungen

Digitized by Google

im Apparate zu haben, wurde entsprechend concentrirtere Lösung eingefüllt. Der Endgehalt wurde. wie auch sonst, aus dem specifischen Gewicht ermittelt und in Columne c verzeichnet. Ausführlichere Angaben unterlasse ich, da es ja überhaupt nur in diesem Falle auf ganz annähernde Werthe ankommen kann (vgl. übrigens p. 73). Die Membranfläche mass in beiden Fällen 5,3 Qu.-Ctm.; der ganze Apparat fasste ungefähr 34 Cub.-Ctm. Lösung.

Nr. XVIII.

Versuchsreihe mit Pergamentpapier.

Das Pergamentpapier war eine ziemlich dichte, übrigens mässig dicke Waare.

	c Concentration in Gew.-Proc.	O Druckhöhe	Temp.	O berechnet für 6proc. Lösung
Gummi arabicum	6,08 Proc.	18,0 Ctm.	24,1° C.	17,7 Ctm.
Rohrzucker	5,92 -	28,6 -	24,7 -	29,0 -
Flüssiger Leim	5,83 -	20,7 -	23,3 -	21,3 -
Salpeter	6,00 -	20,4 -	24,1 -	20,4 -
Gummi arabicum	6,18 -	18,7 -	24,3 -	18,1 -

Nr. XIX.

Versuchsreihe mit Thierblase (Herzbeutel vom Rind).

	c Concentration in Gew.-Proc.	O Druckhöhe	Temp.	O berechnet für 6proc. Lösung
Gummi arabicum	6,01 Proc.	14,2 Ctm.	21,4° C.	14,2 Ctm.
Rohrzucker	6,2 -	15,0 -	21,5 -	14,5 -
Flüssiger Leim	5,81 -	15,1 -	21,1 -	15,4 -
Salpeter	5,73 -	8,5 -	21,3 -	8,9 -
Gummi arabicum	5,9 -	12,1 -	21,6 -	12,3 -

Die in Nr. XVIII und XIX für 6procentige Lösungen berechneten Werthe sind in Tabelle 7 (p. 73) zusammengestellt. — Die osmotische Leistung für flüssigen Leim in Ferrocyankupfermembran wurde für 6procentige Lösung desselben Präparates, welches zu obigen Versuchen diente, mit offenem Manometer gemessen. Auch ist das hier benutzte Gummi dieselbe Waare, welche zur Bestimmung der Druckhöhe in Ferrocyankupfermembran diente.

Digitized by Google

Digitized by Google

II.

Physiologischer Theil.

Digitized by Google

Digitized by Google

18. Die Plasmamembran.

Seitdem Nägeli[1]) auf die Wichtigkeit der diosmotischen Eigenschaften des Protoplasmas hinwies, ist meines Wissens immer angenommen, dass der gesammte Protoplasmakörper, nicht etwa ein Theil dieses, diosmotisch massgebend sei. Wie aber schon aus bekannten Thatsachen gefolgert werden kann, muss eine peripherische Schicht über Nichtaufnahme oder Aufnahme eines Körpers entscheiden. Denn wenn ein gelöster Stoff durch die relativ ruhende peripherische Schicht seinen Weg in strömendes Protoplasma findet, in welchem sogar feste Körper mechanisch durcheinander geworfen werden, so muss er sich in diesem nothwendig vertheilen. Natürlich setzen wir hier voraus, dass chemische Bindung oder anderweitige Vorgänge nicht störend eingreifen. Die Nichtaufnahme gewisser Körper, welche durch die früher zu Experimenten verwandten Häute leicht diosmiren, hat aber aufgehört eine ausschliessliche Eigenschaft des Protoplasmakörpers zu sein, seitdem Traube die Niederschlagsmembranen und deren diosmotisches Verhalten kennen lernte.

Ueber Aufnahme oder Nichtaufnahme eines Stoffes muss in qualitativer Hinsicht der physikalische Aufbau der peripherischen Schicht des Protoplasmas entscheiden, denn jeder Gedanke das Ausschliessungsvermögen aus mit der Lebensthätigkeit zusammenhängenden Prozessen erklären zu wollen, fällt damit, dass lebloses und lebensthätiges Protoplasma in allen diosmotischen Eigenschaften übereinstimmen, welche bis jetzt verfolgt wurden. Weil aber selbst leicht diosmirende Krystalloide nicht durch die fragliche, von Wasser durchtränkte peripherische Schicht dringen, müssen in dieser nothwendig die constituirenden Theilchen dicht gelagert sein, denn der Durchmesser der Zwischenräume könnte ja höchstens gleich sein dem doppelten Radius der Wirkungs-

1) Pflanzenphysiol. Unters. von Nägeli und Cramer 1855, Heft I, p. 5.

Digitized by Google

sphäre der Theilchen Plus dem Durchmesser eines krystalloiden Molecüls. Will man mit dem Princip der Causalität nicht brechen, so ist diese Forderung ganz unabweislich, um Stoffen den Durchtritt zu verwehren, welcher durch moleculare Anziehungen zwischen gelöstem Körper und Wasser (eventuell auch Theilchen der peripherischen Schicht), mit bestimmter Energie angestrebt wird. Durch solche Anziehungen muss aber ebenso nothwendig eine osmotische Druckhöhe erzeugt werden, welche durch den physikalischen Aufbau der peripherischen Schicht und die Qualität der constituirenden Theilchen bestimmt wird.

Hinsichtlich des diosmotischen Austausches und der osmotischen Druckhöhe ist es gleichgültig, ob die fragliche peripherische Schicht des Protoplasmas für sich nach ihrem Cohäsionszustand als Membran anzusprechen ist oder nicht. Auch kann die Dicke dieser Schicht nur für Quantität des diosmotischen Austausches, nicht aber für osmotische Druckhöhe Bedeutung haben (p. 77). Ob diese peripherische Schicht eine Membran ist, oder nicht, ist eben eine neue Frage. In keinem Falle aber kann diese diosmotisch bestimmende Schicht nur ein sog. Flüssigkeitshäutchen sein, und würde auch ein solches natürlich dann nicht sein, wenn ihre Entstehung eine Folge der veränderten Molecularwirkung an der freien Oberfläche eines flüssigen Körpers sein sollte.

Sehr dünn kann die diosmotisch bestimmende Schicht thatsächlich sein, wie die unter Umständen geringe Dicke der peripherischen Umkleidung strömenden Protoplasmas und die entsprechende Umkleidung sich nicht auffällig bewegenden Protoplasmas zeigen. Theoretisch genommen könnte ja die diosmotisch massgebende Schicht aus nur einer Lage kleinster Theilchen bestehen und die directe Beobachtung zeigt wenigstens so viel, dass gelöste Farbstoffe schon in die äussersten Partien der Protoplasmaumhüllung nicht eindringen. Unter solchen Umständen kann man auf Grund von Aufnahme oder Nichtaufnahme gelöster Stoffeaus der äusseren Umgebung nicht sagen, ob dem hyalinen Saum, der Hautschicht. in allen concentrischen Schichten gleiche diosmotische Eigenschaften zukommen. Es muss dieses wenigstens zunächst da unwahrscheinlich erscheinen, wo, wie z. B. bei Myxomyceten, die Hautschicht grössere Mächtigkeit erlangt und die mikroskopische Wahrnehmung für eine von aussen nach innen abnehmende Dichte spricht, da ceteris paribus) mit abnehmender Dichte eine Verminderung des diosmotischen Ausschliessungsvermögens zu erwarten ist. Den exacten Beweis hierfür kann ich freilich nicht liefern, doch sprechen dafür auch gewisse diosmotische Beobachtungen an Myxomyceten, welche ich indess nicht mitzutheilen wage, da sie nicht mit genügender Exactheit

Digitized by Google

verfolgt wurden. Es kam eben für meine physiologischen Zwecke gar nicht darauf an, welche Mächtigkeit die die Stoffaufnahme regelnde Schicht besitzt.

Nennt man aber die ganze hyaline Umkleidung des Protoplasmakörpers Hautschicht, Hautplasma oder wohl am besten Hyaloplasma, so ist da, wo dieses eine dickere Schicht bildet, wahrscheinlichst nur eine äussere Zone massgebend für die diosmotischen Vorgänge, welche wir am Protoplasma beobachten. Um dieses auszudrücken, habe ich mich entschlossen diese diosmotisch bestimmende Schicht als »Plasmahaut« oder »Plasmamembran« zu bezeichnen, und es ist natürlich möglich, dass eventuell das ganze Hyaloplasma, »Plasmamembran« ist, beide Begriffe also zusammenfallen. Das körnige Protoplasma werde ich mit Strasburger[1]) Körnerplasma nennen und eben um die sichtbare Differenzirung sogleich mit dem Worte auszudrücken, scheint es mir besser die hyaline Umkleidung als »Hyaloplasma« zu bezeichnen. Uebrigens ist die Plasmamembran ein Theil des Protoplasmakörpers und die membranartige Umkleidung eines nicht zum Protoplasma gehörigen Körpers, wie z. B. der im Zellsaft befindlichen Gerbsäuretropfen, wird nicht als Plasmamembran zu bezeichnen sein, wenn diese Umkleidung auch in physikalischer und chemischer Hinsicht mit einer Plasmamembran identisch sein sollte.

Die obige Unterscheidung einer Plasmamembran ist nur mit Rücksicht auf diosmotisches Verhalten vorgenommen und in morphologischer Hinsicht vielleicht überhaupt nicht geboten. Ich befand mich eben, da ich eine präcise Bezeichnung für die diosmotisch massgebende Schicht haben musste, in der unangenehmen Lage, den Begriff von Hyaloplasma, Hautschicht oder Primordialschlauch in einem engeren Sinne zu nehmen[2]), oder die fragliche Schicht mit einem besonderen Namen

1) Zellbildung und Zelltheilung 1876, II. Aufl., p. 286. — Unter Protoplasma verstehe ich dann, wie es jetzt meist üblich ist, den ganzen Protoplasmakörper. Mit Zellsaft bezeichne ich, wie es schon von Mohl geschah, die Flüssigkeit, welche sich in den vom Protoplasmakörper umschlossenen Räumen findet. Vgl. Sachs, Lehrbuch, IV. Aufl., p. 2.

2) Das war meine frühere Absicht und dem entsprechend bezeichnete ich in einer vorläufigen Mittheilung (Sitzungsb. d. niederrhein. Gesellschaft 5./7. 1875) unsere jetzige Plasmamembran als Primordialschlauch. Mohl bemerkt (Botan. Zeitung 1855, p. 701, der Primordialschlauch (d. h. das Hyaloplasma) sei vielleicht noch von einer besonderen membranartigen Schicht bekleidet, wie sie unser Autor als Umgrenzung der Chlorophyllkörner vermuthet. Die für solche Schicht vorgeschlagene Bezeichnung »pellicula« zur Benennung der Plasmamembran zu adoptiren, schien nicht geeignet. Mohl verwahrt sich übrigens an der citirten Stelle gegen eine solche Einschränkung des Begriffes »Primordialschlauch«, wie ich sie früher beabsichtigte.

Digitized by Google

zu belegen, welches letztere mir schliesslich vortheilhafter erschien. Ich sehe übrigens selbst die Bezeichnung »Plasmamembran« als einen Nothbehelf an und würde dieselbe mit Freude fallen lassen, sobald die Kenntniss von Structur und Qualität des Hyaloplasma solches erlauben sollte. Eine bestimmte Abgrenzung der Plasmamembran gegen innere Schichten des Hyaloplasmas ist ohnedies nicht wahrscheinlich. Die Bedingungen für Entstehung der Plasmamembran sind, gleichviel welche Ursachen massgebend sind, unter Umständen überall gegeben, wo Protoplasmamassen freie Oberfläche darbieten. Andererseits vertheilen sich aber die Theilchen der Plasmamembran in dem Protoplasma, wenn jene allseitig von Protoplasma umgeben wird und so sind zwei entgegengesetzte Vorgänge thätig, von welchen der eine auf Bildung, der andere auf Zerstörung der Plasmamembran hinarbeitet. Als Resultante dieser antagonistischen Vorgänge kann die Plasmamembran nach innen unbestimmt begrenzt sein, ja muss dieses im allgemeinen sein, wenn der Vertheilung im Protoplasma ein Aufquellen vorausgeht [1]. Eine nach dem Innern zu abnehmende Dichte wäre dann selbstverständlich und die ganze Schicht von Hyaloplasma könnte auf diesem Wege zu Stande kommen. Damit will ich nicht gesagt haben, was ich ausdrücklich bemerke, dass alles Hyaloplasma so entstehen muss, habe vielmehr gute Gründe zu glauben, dass die zuweilen relativ mächtigen Schichten hyalinen Protoplasmas bei Myxomyceten einer anderen Ursache ihre Entstehung verdanken.

So lange Bildungsmaterial zugegen ist und die Bedingungen für Bildung (Wachsthum) gegeben sind, kann der Erfolg dehnender Kräfte über die Cohäsion der isolirten Plasmamembran ebensowenig Aufschluss geben, wie über die Festigkeit von Niederschlagsmembranen, welche in Folge einer Dehnung in die Fläche wachsen. Richtig ist allerdings, dass sich die hautartige Schicht um Protoplasma unter normalen Verhältnissen gegen Druck und Zug etwa wie ein zähflüssiger Körper verhält, aber dieses muss nicht der Cohäsionszustand der isolirt gedachten Plasmamembran sein, weil Flächenvergrösserung durch Wachsthum und Flächenverminderung umgekehrt durch Auflösung (so sei hier der Kürze halber gesagt) möglich ist. In der That werde ich zeigen, wie, nach Vernichtung der Wachsthumsfähigkeit, das dann allerdings coagulirte Protoplasma mit einer resistenten Membran umkleidet erhalten werden kann, welche diosmotische Eigenschaften wie zuvor das lebende Proto-

1) Die unbestimmte Abgrenzung des Hyaloplasma gegen das Körnerplasma war schon Mohl (Bot. Ztg. 1844, p. 294) und Nägeli (Zeitschrift für wiss. Botanik 1844, I., p. 95) bekannt.

Digitized by Google

plasma besitzt und durch die allein das Eindringen gelöster Körper in das todte Protoplasma verhindert wird. In wie weit Gründe dafür sprechen, dass die lebensfähiges Protoplasma umkleidende peripherische Schicht, im isolirten Zustand gedacht, als resistente Membran anzusprechen ist, wird später erwogen werden. Hier sei aber noch darauf hingewiesen, wie innere Partien des Hyaloplasmas zwar in Dichte und diosmotischen Eigenschaften von der äussersten Schicht abweichen, aber dennoch den Cohäsionszustand einer zweifellosen Membran haben könnten, um zu zeigen, ein wie mangelhafter Nothbehelf unsere vorläufige Unterscheidung der Plasmamembran ist. Es war ja meine Absicht ganz und gar nicht, speciell die Gliederung des Protoplasmakörpers und seiner Theile zu studiren, sondern diese Gliederung nur so weit zu verfolgen, als es zum Verständniss der osmotischen Vorgänge absolut nothwendig erschien. So übergehe ich denn auch gewisse unvollständige Beobachtungen, welche bei genauerem Verfolg vielleicht einigen Aufschluss über die Constitution verschiedener Zonen im Hyaloplasma geben könnten[1]).

Bei Discussion über die Eigenschaften der peripherischen Umkleidung des Protoplasmas sind diosmotisches Verhalten und Wachsthumsfähigkeit dieser Umkleidung bisher nicht gewürdigt worden. Die Cohäsion der nicht wachsthumsfähigen (isolirt gedachten) Plasmamembran kommt zwar unter normalen Verhältnissen nicht in Betracht, weil unter diesen die Bedingungen für Wachsthum gegeben sind, doch muss man natürlich den Cohäsionszustand der wachsthumsfähigen und nichtwachsthumsfähigen peripherischen Schichten wohl auseinander halten. Unter normalen Verhältnissen verhält sich das Hyaloplasma (also auch die Plasmamembran), wie Nägeli[2]) mit Recht hervorhebt, wie zähflüssiger Schleim und diejenigen, welche den peripherischen Schichten unter diesen Umständen eine weit grössere Festigkeit und Widerstandsfähigkeit zuschreiben, dieselben also als eine resistente Membran ansehen, treten mit den thatsächlichen Beobachtungen in Widerspruch. Auf den wachsthumsfähigen Zustand beziehen sich aber alle bisherigen Discussionen, doch wurde eben die Bedeutung der Wachsthumsfähigkeit für Widerstandsfähigkeit der peripherischen Schichten des Protoplasmas übersehen.

---

1) Aus Literaturangaben sei erwähnt, dass de Bary (Myxetozoen, II. Aufl., p. 31) Randschicht und Hülle unterscheidet. Ich lasse übrigens dahin gestellt, ob diese Hülle nicht vielleicht etwas anderes, als die eigentlich diosmotisch massgebende Schicht ist.

2) Pflanzenphysiol. Untersuchungen 1855, I., p. 19. — Nägeli und Schwendener, Mikroskop. 1867, p. 403.

Digitized by Google

Nach obigem glaube ich nun nicht speciell die Auffassung verschiedener Autoren beleuchten zu sollen, welche sich hinsichtlich des Aggregatzustandes des Hyaloplasmas der von Mohl[1]) oder der von Pringsheim[2]) vertretenen Anschauung anschliessen oder eine mittlere Stellung zwischen diesen beiden Anschauungen einnehmen. H. v. Mohl war eher geneigt das Hyaloplasma, den Primordialschlauch, als Membran anzusprechen, während Pringsheim das von ihm Hautschicht genannte Hyaloplasma als eine schleimige Masse ansah. Manche Autoren[3]) bezeichneten das Hyaloplasma auch einfach als die äussere dichtere Schicht des Protoplasmas, und liessen damit natürlich über den Aggregatzustand überhaupt in Zweifel. Uebrigens war der Streit, ob das Hyaloplasma Membran sei oder nicht, wie schon Nägeli[4]) hervorhob, zum guten Theile gegenstandlos, da eine Definition von »Membran« nicht gegeben wurde und dieser Begriff eben verschieden gefasst werden kann.

Mohl und Pringsheim hatten nur die äussere Begrenzungsfläche des Protoplasmakörpers im Auge, während schon Hartig[5]) das Protoplasma (den Ptychodesaft) als einen nach aussen und innen von Membran (der Ptychode) begrenzten Körper ansah, freilich aber unrichtige Vorstellungen über die weitere Bedeutung der Ptychode hatte. Ganz allgemein sprach dann Nägeli[6]) aus, dass überall wo an Proteinstoffen reiche Zellinhalte, also auch wo Protoplasma mit anderen wässerigen Medien in Contact kommen, sich eine membranartige Schicht durch einen, der Gerinnung von Eiweissstoffen zu vergleichenden Vorgang an der ganzen Berührungsfläche bilde. Als specieller Fall ist hiernach das Protoplasma auch gegen den Zellsaft von einer membranartigen Schicht abgegrenzt, was fernerhin auch theilweise angenommen zu sein scheint[7]) und in jüngerer Zeit von Hanstein[8]) energisch vertreten

---

1) Bot. Zeitung 1844, p. 273; 1846, p. 73; 1855, p. 689. — Mohl hat wenigstens späterhin das Hyaloplasma als Primordialschlauch bezeichnet, in seinem ersten Aufsatz aber auch das eine dünne Schicht bildende gesammte Wandprotoplasma mit diesem Namen belegt.

2) Bau und Bildung der Pflanzenzelle 1854, p. 5.

3) Z. B. M. Schultze, Kühne, Hofmeister.

4) Pflanzenphysiol. Untersuchungen 1855, I., p. 19.

5) Die erste ausführliche Darstellung in Hartig's »Beiträgen zur Entwicklungsgeschichte der Pflanzenzelle 1843« steht mir nicht zu Gebote. Ausführliche Darstellung gab Hartig auch in »Leben der Pflanzenzelle 1844 p. 8 ff.« und »Entwicklung des Pflanzenkeims 1858, p. 1 u. 23«.

6) Pflanzenphysiol. Untersuchungen, l. c., p. 9 u. 10. — Mikroskop, p. 552.

7) Vgl. z. B. Hofmeister, Pflanzenzelle 1867, § 4 u. 8.

8) Sitzungsb. der niederrhein. Gesellschaft 19. Dec. 1870.

Digitized by Google

wurde. Die allseitige Abgrenzung des an wässrige Flüssigkeit stossenden Protoplasmakörpers durch die diosmotisch massgebende Plasmamembran wird übrigens durch das diosmotische Verhalten, speciell durch das Verhalten gegen gelöste Farbstoffe sogleich angezeigt[1].

Dass sich um Protoplasmamassen in Wasser allgemein eine membranartige Schicht bildet, wurde, wie soeben bemerkt ist, von Nägeli constatirt, welcher auch feststellte, dass lebensthätige Protoplasmakörper und beliebige kleine aus Protoplasma gebildete Vacuolen in gleicher Weise Farbstoffe nicht diosmiren lassen. In beiden Fällen bleibt das Protoplasma ungefärbt und ein Austausch von Farbstoffen ist überhaupt nicht zu bemerken, sowohl wenn diese in der äusseren Flüssigkeit, als auch wenn sie in der vom Protoplasma umschlossenen Flüssigkeit gelöst sind.

Will man mit Vacuolen operiren, so bildet man diese am besten, indem man Protoplasmamassen in geeigneten Lösungen von Zucker oder anderen indifferenten Stoffen zerdrückt, um die weitgehende Ausdehnung und endliche Zersprengung der Vacuole zu vermeiden, welche durch osmotische Wirkung der Inhaltsstoffe in reinem Wasser leicht herbeigeführt wird. Wenn man Protoplasma in gefärbter Flüssigkeit zerdrückt, so erhält man auch hier und da Vacuolen mit gefärbtem Inhalt. Ich habe vielfach Vacuolen auf ihr diosmotisches Verhalten geprüft, namentlich solche, welche aus Protoplasma der Vaucheria geminata Walz[2], der Wurzelhaare von Hydrocharis morsus ranae, der rothen Rübe und des Plasmodium von Aethalium septicum in 2 bis 10procentiger Zuckerlösung entstanden waren. Zuweilen erhielten sich Vacuolen während 8 Tagen in intensiv gefärbter und auf gleicher Concentration gehaltener Flüssigkeit, ohne dass eine merkliche Spur von Farbstoff in das Protoplasma eingedrungen wäre, wie namentlich dann entscheidend beurtheilt werden konnte, wenn die gefärbte Flüssigkeit schnell durch

---

1) Strasburger's »Studien über Protoplasma 1876«, welche erst nach Abschluss dieses Manuscriptes erschienen, geben mir keine Veranlassung meine Anschauungen in irgend einem Punkte zu ändern. Die diosmotischen Verhältnisse hat Strasburger gar nicht berücksichtigt und was Strasburger gegen Existenz einer Membran geltend macht, bedarf nach den von mir hier gegebenen und noch zu gebenden Auseinandersetzungen einer besonderen Widerlegung nicht. Einige wenige Anmerkungen über Anschauungen Strasburger's werde ich an geeignetem Orte anbringen.

2) Wo ich in Folgendem einfach von Vaucheria spreche, meine ich diese Species.

Digitized by Google

eine übrigens gleich concentrirte Zuckerlösung verdrängt wurde. Endlich gehen die Vacuolen zu Grunde und mit dem immer plötzlichen Zusammenfallen dringt auch Farbstoff sogleich ein, resp. heraus und wird zugleich in bekannter Weise in dem Protoplasma aufgespeichert.

In besagter Weise habe ich mit in Wasser löslichem Anilinblau, Carmin, Haematoxylin (mit Spur von Ammoniak aufgelöst) und gefärbten Fruchtsäften experimentirt und das Eindringen einer Spur von Farbstoff ebenso wenig an Vacuolen, wie an lebensthätigem Protoplasma bemerken können. Das diosmotische Verhalten beider zeigte sich auch in anderer Hinsicht, wie erst späterhin mitgetheilt werden soll, übereinstimmend. Diese Uebereinstimmung gilt auch für Vacuolen, welche von möglichst dünner Schicht von Protoplasma umgeben wurden, und in gleicher Weise für die Vacuolen, welche aus Hyaloplasma oder Körnerplasma entstanden waren.

An isolirten Massen von Körnerplasma bildet sich schliesslich die hyaline Umgrenzung in üblicher Weise aus, ob aber solche allein aus Körnerplasma gebildete Massen auch lebensfähig sein können, habe ich nicht in genügender Weise festzustellen versucht. Für Myxomyceten scheint dieses wohl wahrscheinlich, ohne weiteres behaupten kann man es aber nicht. Das Heilen von Wundflächen, wie es für Vaucheria und andere Objecte bekannt ist[1]), kommt theilweise durch Zusammenneigen der Wundstellen zu Stande und wenn auch Hyaloplasma partiell aus Körnerplasma gebildet sein sollte, so waren doch immer noch Körnerplasma und vor der Verwundung vorhandenes Hyaloplasma in dem fortlebenden Objecte vereint geblieben.

Für meine physiologischen Zwecke war es ausreichend zu wissen, dass die Plasmamembran an der freien Oberfläche von Protoplasmamassen, welche sich in wässriger Flüssigkeit befinden, immer entsteht und aus diesem Grunde habe ich die hinsichtlich der Bildung sich auf-

1) Siehe Nägeli in Zeitschrift f. wissenschaftl. Botanik von Schleiden u. Nägeli 1844, Heft I, p. 91 und Pflanzenphysiol. Unters. 1855, Heft I, p. 9. — Ferner Hofmeister, Pflanzenzelle 1867, p. 76; Hanstein, Sitzungsb. der niederrhein. Gesellschaft 4. Nov. 1872. — Auch Strasburger, Studien über Protoplasma 1876, p. 26. Die Thatsache, welche hier Strasburger hinsichtlich des Körnerplasmas und Hyaloplasmas von Vaucheria mittheilt, war mir selbst bekannt und ich könnte sogar noch einige weitere bezügliche Facta bringen. Die Schlussfolgerung aber, welche Strasburger zieht, aus Körnerplasma allein könne ein Cellulose bildender Körper nicht entstehen, zog ich nicht, weil mir diese zu voreilig schien und auch jetzt noch scheint.

Digitized by Google

drängenden Fragen nicht nach allen Seiten verfolgt. Eben weil die Plasmamembran (auch Hyaloplasma) sich erst an der freien Oberfläche bildet, muss mit dieser auch die Ursache zur Bildung hergestellt sein. Es wäre nun zunächst zu entscheiden, ob es hierzu einer äusseren Einwirkung bedarf, oder ob unabhängig hiervon, mit und in der freien Oberfläche schon die Bedingungen für Entstehung der Plasmamembran gegeben sind. Das Verhalten in Wasser und ebenso in anderen Medien würde in dieser Richtung erst entschieden sein, wenn ohne die Einwirkung dieser Medien die Plasmamembran nicht entstände und für gewisse Fälle fehlt auch noch der Nachweis, dass sie thatsächlich vorhanden ist. So umkleiden sich Protoplasmamassen in fettem Oele und in Luft[1]) mit hyalinem Saume, aber ohne dass mindestens die diosmotischen Eigenschaften ermittelt sind, wird man nicht positiv behaupten können, dass hier auch Plasmamembran entstanden ist. Die Wahrscheinlichkeit spricht ja wohl dafür und wenn nicht, so ist doch wenigstens Hyaloplasma an der freien Oberfläche gebildet; die oben aufgeworfene Frage wird aber so allein nicht entschieden, da immer noch äussere Einflüsse im Spiele waren. Man vergesse hier nicht, wie z. B. auch Verdunstung und damit zusammenhängende Vorgänge, sowie die Ansammlung von einer dünnen Wasserschicht, etwa zwischen Oel und Protoplasma wirkende Factoren sein könnten. Dieser und anderer Umstände halber ist aber die vorliegende Frage schwierig zu entscheiden, falls nicht unter bestimmten Verhältnissen die Bildung der Plasmamembran (oder des Hyaloplasmas) unterbleibt.

Jedenfalls kann die hyaline Umkleidung des Protoplasmas nicht, wie es Hofmeister[2]) will, der unmittelbar sichtbare Ausdruck der Eigenschaft flüssiger Körper sein, sich mit einer Oberfläche veränderter Dichte zu umgeben. Allerdings befinden sich ja die Theilchen an der freien Oberfläche einer Flüssigkeit in einem andern Zustand der Dichte und Beweglichkeit als die Theilchen im Inneren der Flüssigkeit, aber die Voraussetzung, welche den Theorien von Laplace und Poisson zu Grunde liegt, dass die massgebenden Molecularkräfte nur auf minimale Entfernung wirken, ist mit der obigen Auffassung unvereinbar, da die hyaline Umkleidung immerhin messbare Dicke erreicht. Beiläufig sei hier bemerkt, dass nach der Theorie von Laplace und Poisson Verdichtung an der Adhäsionsfläche, d. h. da wo die Molecular-

1) Die diosmotischen Eigenschaften von in Oel liegenden Protoplasmamassen könnten vielleicht durch Anwendung geeigneter in Oel und in Wasser löslicher Körper ermittelt werden. Für in Luft liegende Protoplasmamassen wären Schlussfolgerungen vielleicht aus dem diosmotischen Verhalten gegen Gase abzuleiten.

2) Pflanzenzelle 1867, p. 3.

Digitized by Google

wirkung zwischen flüssigem und festem Körper überwiegt. eintreten muss [1]. während im entgegengesetzten Falle, also an der freien Oberfläche von Flüssigkeiten, eine unmessbare dünne Schicht von geringerer Dichte entstehen muss [2]. Letzteres ist zwar noch nicht experimentell erwiesen, doch spricht auch nichts gegen diese Consequenz der Theorie und jedenfalls kann für das Protoplasma nicht eine dichtere Oberfläche auf Grund einer Eigenschaft flüssiger Körper angenommen werden, nach welcher gerade eine minder dichte Oberfläche zu erwarten ist. Dass übrigens das diosmotische Ausschliessungsvermögen der peripherischen Schicht protoplasmatischer Massen nicht durch eine, nach Analogie des sog. Flüssigkeitshäutchens veränderten Schicht erklärt werden kann, ist so leicht einzusehen. dass ich eine besondere Beweisführung hier für unnöthig halte [3].

Eine ganz andere Frage ist es. ob die veränderte Molecularwirkung an der Oberflächengrenze protoplasmatischer Massen die Bildung von Plasmamembran, resp. Hyaloplasma herbeiführen kann. Es fehlt ja nicht an Beispielen, dass schon durch einen minimalen Anstoss z. B. die Ausscheidung gewisser Stoffe veranlasst wird und man wird hier mit seinem Urtheil vorsichtig sein müssen. so lange über Qualität des Bildungsmateriales für Plasmamembran, resp. Hyaloplasma nichts bestimmtes bekannt ist, um so mehr, als ja das Verhalten eiweissartiger Stoffe noch in so mancher Beziehung räthselhaft ist. Dazu kommt, dass selbst an der Oberfläche ganz reiner und homogener Flüssigkeiten unter Umständen Erscheinungen sich abwickeln, welche bislang noch nicht genügend aufgeklärt sind [4].

Bei der derzeitigen Sachlage kann nur durch das Experiment entschieden werden, ob schon veränderte Molecularwirkung an der Oberfläche die Entstehung von Plasmamembran, resp. Hyaloplasma herbeiführt oder ob dazu äussere Einflüsse irgend welcher Art nothwendig sind. Letzteres scheint wohl wahrscheinlicher, und eine Reihe von

---

1) Vgl. diese Abhandlung p. 38.

2) Poisson, Poggendorff's Annalen 1833, Bd. 27, p. 193. — Ferner z. B. Mousson, ebenda 1871, Bd. 142, p. 405 und dessen Physik, II. Aufl., Bd. I, p. 258.

3) Durch ein solches »physikalisches Oberflächenhäutchen« dürften, so meint Strasburger (Studien über Protoplasma p. 38), auch Vacuolen gewöhnlich allein abgegrenzt sein. Des diosmotischen Verhaltens halber geht dieses aber nicht an.

4) Siehe z. B. B. du Bois-Reymond, Poggendorff's Annalen 1870, Bd. 139, p. 262 und Bd. 104. — Quincke, Poggendorff's Annalen 1870, Bd. 139, p. 1 ff. — Andere Anschauungen macht Cintesoli geltend, die im Naturforscher 1876, p. 299, referirt wurden.

Digitized by Google

Wahrscheinlichkeitsgründen liessen sich allerdings anführen, doch unterlasse ich eine Discussion, welche zu definitiver Entscheidung doch nicht führen würde. Wenn ich nun trotzdem die Entstehung der Plasmamembran in Wasser unter der Voraussetzung behandle, dass äussere Einwirkungen nothwendig sind, so geschieht dieses mit dem Bewusstsein, dass meine Schlussfolgerungen zusammenfallen, wenn die gemachte Voraussetzung nicht zutrifft. Ich glaube aber die mir vorliegenden Beobachtungen nicht zurückhalten zu sollen, weil sie selbst dann einiges brauchbare Material liefern dürften, wenn allein schon die veränderte Molecularwirkung in der Oberfläche des Protoplasmas massgebend ist. Uebrigens ist Folgendes immer nur als Fragment aufzunehmen, weil die Entstehung der peripherischen Umkleidung des Protoplasmas unter anderen Bedingungen als in wässriger Flüssigkeit nicht behandelt wird [1]).

Zur Bildung der Plasmamembran (und des Hyaloplasmas) müssen entweder schon unlösliche Körpertheilchen zusammengeführt oder gelöste Körper aus ihrer Lösung ausgeschieden werden. Letzteres scheint nothwendig, um die Einschiebung neuer Theilchen beim Wachsthum durch Intussusception zu ermöglichen, welches in ausgedehntester Weise möglich ist, indem z. B. die hyaline Schicht, welche das eine Vacuole umgebende Protoplasma überzog, um mehr als das 40fache an Fläche gewann, ohne dass ihre Dicke merklich abgenommen hatte. Auch wird weiterhin gezeigt werden, dass mit gewissen Ausscheidungen innerhalb des Protoplasmas die Wachsthumsfähigkeit in der Plasmamembran erlischt. Müssen wir hiernach die Existenz einer Lösung des Membranbildners im Protoplasma fordern, so ist damit natürlich nicht ausgeschlossen, dass zur Bildung der Plasmamembran auch schon ungelöste Theilchen zusammengeführt werden, welche durch Ausscheidung zuvor gelöster Theilchen gleichsam verkittet werden könnten. Falls aus minder dichten Schichten von Hyaloplasma durch einfache Verdichtung Plasmamembran entstehen sollte, so ist auch dieser Fall schon unter obigen Gesichtspunkten mit inbegriffen. Es scheint mir in der That wahrscheinlich, dass etwas derartiges stattfindet, was ja für schnelles Flächenwachsthum der Plasmamembran auch nur vortheilhaft sein könnte. Thatsächlich habe ich einigemal beobachtet, wie bei sehr schneller Flächenvergrösserung die hyaline Schicht an Dicke merklich abnahm, nach einiger Zeit aber die frühere Mächtigkeit wieder gewann.

1) Es ist z. B. auch eine noch offene Frage, ob Krystalle und andere Körper schon innerhalb der Zelle mit membranartiger Plasmamasse umkleidet sind oder diese Schicht erst mit Tödtung der Zelle entsteht.

Digitized by Google

Sobald irgend eine membranartige Schicht durch Fällung, d. h. durch Ausscheidung eines Körpers aus einer Lösung zu Stande kommt, kann man diese als Niederschlagsmembran, entsprechend dem Sinne dieses Wortes, ansehen, dagegen würde keine Niederschlagsmembran vorliegen, wenn nur ungelöste Theilchen zusammentreten. Sind dieser Vorgang und Ausscheidung zugleich thätig, so wird man von Niederschlagsmembran immer noch reden dürfen, insofern die Fällung ein integrirender Factor ist; eine besondere Bezeichnung in solchem Falle einzuführen, scheint mir vorläufig nicht geboten. Wie die Fällung zu Stande kommt und welcher Qualität das Material ist, das ist für den Begriff »Niederschlagsmembran« vollkommen gleichgültig und deshalb gelten die oben bezüglich der Plasmamembran angestellten Erwägungen auch z. B. für den Fall, dass diese in Folge der veränderten Molecularwirkung in der oberflächlichen Schicht entstehen sollte [1]).

Unter der oben gemachten Voraussetzung muss also durch die Einwirkung des Wassers auf das Protoplasma die Plasmamembran (resp. das Hyaloplasma) entstehen, da thatsächlich schon reines Wasser zur Erzeugung der Plasmamembran ausreicht. Lassen wir nun den Fall ausser Acht, dass vielleicht die Zusammenlagerung ungelöster Theilchen bei der Bildung der Membran mitwirkt und richten unser Augenmerk speciell auf die Ausfällung des gelösten Membranbildners, so bieten sich hier zunächst zwei Möglichkeiten dar: entweder wird diese Fällung eine Folge der Verdünnung mit Wasser oder der Entziehung eines Lösungsmediums sein. Dass letzteres für sich allein Membranbildung bewirken kann, ergibt sich bei Anwendung wasserentziehender, übrigens indifferenter Lösungen. Zerdrückt man nämlich Protoplasmamassen in Zuckerlösung, welche genügend wasserentziehend wirkt (ich wandte Lösung von 10 bis 30 Proc. Gehalt an), so ist Verdünnung mit Wasser an der Contactfläche ausgeschlossen, dessenungeachtet bildet sich aber eine hyaline Umkleidung und das Verhalten gegen Farbstoffe zeigt die Existenz der Plasmamembran an, welche auch in normaler Weise, d. h. ohne Unterbrechung der Continuität, in die Fläche wächst, wenn man die concentrirtere durch verdünntere Zuckerlösung ersetzt. Darnach

1) So entsteht auch die Zellhaut als Niederschlagsmembran, weil die constituirenden Theilchen nur in gelöster Form durch die peripherischen Schichten des Protoplasma dringen können. Wie Strasburger den Begriff »Niederschlagsmembran« fassen will, wenn die Zellhaut keine solche sein soll (wie p. 37 in Studien über Protoplasma ausdrücklich bemerkt wird), weiss ich nicht. Unter allen Umständen unrichtig ist aber Strasburger's Meinung (p. 37), aus dem Vorhandensein gewisser Structurverhältnisse in der Hautschicht einiger Objecte gehe hervor, dass diese keine Niederschlagsmembran sein könne.

Digitized by Google

kann man wohl sagen, dass alleinige Entziehung des Lösungsmediums zur Ausfällung und Membranbildung ausreicht, aber es ist damit nicht ausgeschlossen, dass in gleicher Weise schon einfache Verdünnung der Lösung des Membranbildners eine Ausscheidung dieses und Bildung von Plasmamembran herbeiführen kann.

Wie eine Niederschlagsmembran durch einfache Berührung mit Wasser entstehen kann, wurde bereits von Traube[1]) gezeigt. Concentrirtere, nicht aber verdünnte Lösung von Gerbsäure löst gerbsauren Leim auf und wenn ein Tropfen einer solchen Lösung in Wasser gebracht wird, scheidet sich deshalb an der Berührungsfläche gerbsaurer Leim und zwar als Membran aus. Hier bringt Verdünnung mit Wasser thatsächlich Ausfällung hervor, ob auch in diesem speciellen Falle die Entziehung des Lösungsmediums, der Gerbsäure, allein schon zur Membranbildung führen kann, müsste das Experiment entscheiden. Eine Membranbildung auf diesem Wege würde übrigens unschwer zu erzielen sein, wenn man auf Herstellung geeigneter Lösungen ausginge.

Um sicher zu sein, dass reines Wasser die Ausfällung des gelösten Membranbildners herbeiführe, bedurfte es besonderer Versuche. Zunächst ist leicht festzustellen, dass die Plasmamembran in normaler Weise weiter wächst, wenn das Wasser ausser Zucker oder Dextrin keine festen Körper enthält, indem man Vacuolen sorgfältig mit reinen Lösungen der genannten Stoffe abwäscht und dann durch Verdünnung dieser Lösungen die Volumzunahme der Vacuole herbeiführt. Diese Vergrösserung, durch osmotische Wirkung der gelösten Inhaltsstoffe hervorgebracht, ist an sich schon ein Beweis für die Existenz der Plasmamembran, welche auch dadurch sich kenntlich macht, dass sie indifferenten Farbstoffen den Eintritt verwehrt. Ein ganz gleiches Verhalten wurde auch beobachtet, wenn die Zuckerlösung Sauerstoff und Kohlensäure[2]) nicht enthielt. Zur Ausführung dieser Versuche brachte ich einzelne, in einem Tröpfchen reiner Zuckerlösung liegende Vacuolen in den ein wenig erweiterten Raum eines Glasröhrchens, durch welches nun einige Stunden lang ein Strom von reinem, namentlich von Sauerstoff und Kohlensäure freiem Wasserstoffgas geleitet wurde. In

---

1) Archiv f. Anatomie und Physiologie 1867, p. 129. — Auf die möglicherweise analoge Entstehung der Plasmamembran (des Primordialschlauches) habe ich bereits bei früherer Gelegenheit hingewiesen in »Physiolog. Untersuchungen 1873, p. 134, Anmerkung«.

2) In gewissen Lösungen von Proteinstoffen erzeugt Kohlensäure einen Niederschlag. Siehe z. B. Heynsius, Pflüger's Archiv 1874, Bd. IX, p. 544. — An eine Wirkung des Sauerstoffes könnte man aus nahe liegenden Gründen denken.

Digitized by Google

einem zweiten etwas erweiterten Raume befand sich ein klein wenig Wasser, welches durch Neigung der Glasröhre zur Zuckerlösung gebracht werden konnte. Die mikroskopische Beobachtung ergab das schon namhaft gemachte Resultat.

Wahrscheinlich ist der Membranbildner, wie noch gezeigt werden soll, ein Proteinstoff, welcher Art das lösende Vehikel ist, kann ich aber nicht sagen. Nur das kann man auf Grund noch mitzutheilender Thatsachen behaupten, dass weder Membranbildner, noch lösendes Vehikel in erheblicher Menge durch die Plasmamembran diosmiren.

Obige Darlegungen zeigen, wie die Entstehung der Plasmamembran durch Berührung mit reinem Wasser sehr wohl möglich ist; ob unsere bezüglichen Schlussfolgerungen richtig sind, kann aber, wie ich darthat, erst nach Erledigung bestimmter anderer Fragen beurtheilt werden. Ganz allgemein wird man wohl sagen dürfen, dass die Plasmamembran entsteht, resp. wächst, wenn die Lösung des Membranbildners an der Oberfläche einer Protoplasmamasse zersetzt wird.

Die Art und Weise der Entstehung der Plasmamembran ist von keiner wesentlichen Bedeutung für folgende Untersuchungen und Folgerungen, durch welche gezeigt werden soll, in wie weit Gründe dafür vorliegen, dass die diosmotisch massgebende Schicht den Aggregatzustand einer Membran besitzt.

Schnitte aus rother Rübe unter Deckglas in 20procentige Zuckerlösung gebracht, deren Concentration fortwährend constant erhalten wurde, zeigten nach 4 bis 5 Tagen noch ziemlich viele Zellen, in welchen das contrahirte Protoplasma, den anscheinend ebenso intensiv, wie zu Beginn des Versuches gefärbten Zellsaft umschloss. Bei ganz allmäliger Verdünnung der Zuckerlösung ergab sich aber jetzt eine partielle oder totale Vernichtung der Fähigkeit des Protoplasmas sich wieder auszudehnen und der Zellwand anzulegen. In manchen Zellen trat bei Verdünnung der Zuckerlösung der Farbstoff schnell aus der Protoplasmahülle in die umgebende Flüssigkeit über, noch ehe der contrahirte Körper merklich an Volumen zugenommen hatte, in anderen Zellen geschah jener Austritt nach zuvoriger geringerer oder erheblicherer Vergrösserung des Protoplasmakörpers. Dieses Verhalten, welches in ganz analoger Weise auch an anderen Objecten beobachtet wurde, ist dadurch bedingt, dass das Wachsthumsmaterial für die Plasmamembran fehlt oder nur in geringer Menge vorhanden ist und demgemäss diese, die diosmotischen Eigenschaften bedingende Plasmamembran durch den

Digitized by Google

steigenden osmotischen Druck des Inhaltes sogleich oder nach gewissem Flächenwachsthum zersprengt wird.

Ganz analoge Erscheinungen wurden beobachtet am Inhalt der Blumenblattzellen von Pulmonaria officinalis, welcher mit 14procentiger Zuckerlösung contrahirt war und ferner an Vacuolen, welche sich aus Protoplasma von Vaucheria oder Aethalium in 3 oder 6procentiger Zuckerlösung gebildet hatten, die mit in Wasser löslichem Anilinblau gefärbt war. Der Eintritt dieses Farbstoffes in das ungefärbte Protoplasma und in die zuvor ungefärbte Vacuolenflüssigkeit zeigte hier die Zersprengung der Plasmamembran an.

Schneller ist die Ausdehnungsfähigkeit der Plasmamembran und damit des ganzen umschlossenen Protoplasma durch Salzsäure zu vernichten, welche ich in solcher Verdünnung anwandte, dass auf 15 bis 35 Cub.-Ctm. des zu benutzenden Mediums 1 Tropfen käufliche Salzsäure kam. Bringt man so angesäuertes Wasser in Berührung mit Zellen der rothen Rübe, der Blumenblätter von Pulmonaria oder anderer geeigneter Objecte, so zeigt die oft fast augenblickliche Röthung des Zellsaftes das sofortige Eindringen der Säure, welche, wie die mehr oder minder vollständige Rückkehr des ursprünglichen Farbentones beim Auswaschen mit Wasser ergibt, auf diosmotischem Wege auch wieder aus der Zelle entfernt werden kann.

Wurde der Zellinhalt an Schnitten aus rother Rübe zunächst mit 20procentiger Zuckerlösung contrahirt, dann diese unter Deckglas durch gleich concentrirte, aber Salzsäure in angegebenem Verhältniss enthaltende Lösung verdrängt, so war gewöhnlich schon nach 2 bis 5 Stunden die Ausdehnungsfähigkeit des Protoplasmas theilweise oder total vernichtet[1]. Bei Zutritt verdünnterer Zuckerlösung wurde der gefärbte Zellsaft aus schon angegebenen Gründen schnell entfernt, während, wenn die Concentration der umgebenden Zuckerlösung sorgfältig constant erhalten wird, Zellen Tage lang nichts von ihrem Farbstoff abzugeben scheinen. Namentlich dann, wenn die salzsäurehaltige Zuckerlösung nach mehrstündiger Einwirkung durch eine gleich concentrirte Zuckerlösung ersetzt wird, kann man wohl noch nach 5 oder 6 Tagen Zellen mit Zellsaft von unveränderter Färbung finden. Endlich freilich sind alle Zellen entfärbt, aber nicht etwa ganz allmälig, sondern immer

1) Die Vernichtung des Membranbildungsmaterials kann bei rothen Rüben dadurch beschleunigt werden, dass einzelne Zellen in Schnitten absterben und nun die in die Aussenflüssigkeit tretende Säure des Zellinhaltes wirkt. Uebrigens zeigt das Verhalten einer isolirten Vacuole, dass auch ohne äusseren Zutritt von Säure die Lösung des Membranbildners mit der Zeit zerstört wird.

Digitized by Google

ziemlich schnell geht die Entfärbung der Zellen vor sich, also sicher erst dann, wenn die Plasmamembran zerriss oder eine ihre diosmotischen Eigenschaften modificirende Veränderung erfuhr, und Zersetzung des wahrscheinlich eiweissartigen Membranmateriales ist ja nach Vernichtung des Lebens endlich zu erwarten. Uebrigens führt Behandlung mit salzsäurehaltigem Wasser zu gleichem Resultate, indem sich die Zellen nach mehrstündiger Einwirkung nicht mehr durch Zuckerlösung contrahiren lassen und der Farbstoff bei einem solchen Versuche aus ihnen hervortritt.

Analoge Resultate wurden durch Behandlung mit Salzsäure von angegebener Verdünnung in Blumenblattzellen von Pulmonaria officinalis und Anchusa officinalis (in 14procentiger Zuckerlösung), sowie mit Vacuolen aus Protoplasma von Vaucheria, Aethalium und Wurzelhaaren von Hydrocharis (in 2 bis 6procentiger Zuckerlösung) erhalten, welche letzteren, wie schon mitgetheilt ist, in mit Anilinblau oder auch mit Cochenille gefärbter Zuckerlösung beobachtet wurden. Auch war der Erfolg mit rother Rübe und mit Vacuolen aus Vaucheria-Protoplasma ein ähnlicher, als an Stelle der Salzsäure Essigsäure oder Schwefelsäure in ungefähr gleicher Verdünnung zur Anwendung kamen.

Bildet das Protoplasma genügend mächtige Schichten und ist es ausserdem zur Beobachtung geeignet, wie an jüngeren Wurzelhaaren von Hydrocharis und an grösseren aus Vaucheria ausgetretenen Protoplasmamassen, so kann man die durch eingedrungene Salzsäure bewirkten, sichtbaren Veränderungen im Protoplasma verfolgen, welche sich an in Zuckerlösung liegenden und an nicht contrahirten Objecten in gleicher Weise abspielen. Die Strömungen im Protoplasma von Hydrocharis-Haaren werden bald nach Zugabe des salzsäurehaltigen Wassers sistirt und oft sieht man schon ein wenig später das Protoplasma sich allmälig trüben und in kürzerer Zeit, oder auch erst nach 1 Stunde, ist das Protoplasma in eine ähnliche trübe und granulirte Masse verwandelt, wie sie für getödtetes Protoplasma bekannt ist. Dessenungeachtet dringen Farbstoffe wie Anilinblau, Cochenille und Hämatoxylin so wenig wie zuvor in das lebende Protoplasma ein und es ist ja auch schon berichtet, dass gefärbter Zellsaft in mit Salzsäure behandelten Zellen zurückgehalten wird, an denen gleichfalls der granulirte Zustand des farblos bleibenden Protoplasmas constatirt werden kann. Natürlich muss die umgebende Flüssigkeit durchaus auf gleicher Concentration gehalten werden, denn mit Zerreissen der Plasmamembran steht den Farbstoffen Eintritt und Austritt offen und nun speichert auch das bis

Digitized by Google

dahin farblose Protoplasma die Farbstoffe in gleicher Weise, wie todtes Protoplasma in sich auf.

Die mitgetheilten Thatsachen können keinen Zweifel darüber lassen, dass die allseitige peripherische, hautartig erscheinende Umhüllung des nach Aussehen und Verhalten todten Protoplasma, den Farbstoffen den Eintritt verwehrt. Dieses konnte ich denn auch durch directe Beobachtung in augenfälligster Weise verfolgen. Wird durch Verdünnung der umgebenden Lösung der osmotische Druck in einem contrahirten Protoplasmakörper, dessen Ausdehnungsfähigkeit vernichtet ist, gesteigert, so reisst die Plasmamembran zuweilen an nur einer Stelle ein. Dem entsprechend sieht man an einem Punkte den gefärbten Zellsaft z. B. aus einer Zelle der rothen Rübe hervordringen und sich in der umgebenden Zuckerlösung verbreiten. Weniger gut ist an diesem Objecte der Eintritt von Farbstoff in das Protoplasma zu verfolgen, was mir indess einigemal sehr schön an jungen Wurzelhaaren von Hydrocharis gelang, deren Protoplasmakörper mit Zuckerlösung contrahirt und durch Salzsäure seiner Expansionsfähigkeit beraubt war. Hier drang dann von der durch osmotischen Druck erzeugten Rissstelle aus der Farbstoff nicht nur in den Zellsaft, sondern verbreitete sich auch von jener Rissstelle aus allmälig in dem zwischen den Plasmamembranen eingeschlossenen todten Protoplasma. In einem Falle war dieses fast schon ganz gefärbt, ehe Farbstoff in den Zellsaft trat, offenbar, weil zunächst nur in der äusseren Plasmamembran ein Riss entstanden war, welcher freilich hier, wie überhaupt in den meisten Fällen, nicht direct sichtbar war, dessen Existenz aber nach dem schon Gesagten keiner besonderen Beweisführung bedarf. Es ist in der Natur der Sache begründet, dass solche Experimente, selbst bei Anwendung aller Vorsicht, doch nur vereinzelt ein günstiges Resultat ergeben können.

Die mitgetheilten Beobachtungen liefern zunächst den exacten Beweis, dass die peripherische, membranartig erscheinende Schicht, welche das getödtete (coagulirte) Protoplasma umkleidet, diosmotische Eigenschaften wie das lebende Protoplasma zeigt, während in dem umschlossenen coagulirten Protoplasma die Farbstoffe sich leicht verbreiten. Dass diese peripherische Schicht eine zweifellose Membran ist, d. h. die Cohäsion eines festen Körpers besitzt, zeigt eben ihr Zerreissen bei Steigerung des osmotischen Druckes. Da dieses Zerreissen eintreten kann, ehe der Protoplasmakörper an Grösse merklich gewann, so ist damit die jedenfalls nur sehr geringe Dehnbarkeit dieser Plasmamembran dargethan, denn wirkliche Flächenzunahme der Membran ist offenbar eine Folge davon, dass die allmälige Vernichtung des Membran-

Digitized by Google

bildungsmaterials noch nicht vollendet und eben deshalb gewisses Wachsthum der Membran möglich war. Näheres über Dehnbarkeit und Elasticität dieser Plasmamembran vermag ich aus meinen Beobachtungen nicht zu folgern, doch genügt ja das Obige, um einen anderen, als festen Aggregatzustand auszuschliessen.

Lebendes Protoplasma ist ohne Bildungsmaterial für Plasmamembran undenkbar und da Entfernung oder Unschädlichmachen dieses ohne Vernichtung des lebenden Zustandes bisher unmöglich war und vielleicht überhaupt unmöglich ist, so konnte die Cohäsion der noch mit lebensfähigem Protoplasma verbundenen peripherischen Schicht nicht bestimmt und auf diesem Wege nicht entschieden werden, ob die isolirt gedachte Plasmamembran eine zweifellose, feste Membran ist. Zieht man nun die diosmotischen Eigenschaften des lebenden Protoplasmakörpers in Betracht, so kann zunächst darüber kein Zweifel sein, dass schon die peripherische Schicht diejenigen Stoffe nicht passiren lässt, welche unfähig sind in lebendes Protoplasma einzudringen. Bei Farbstoffen ist dieses unmittelbar zu sehen, für andere Körper ist es als eine Nothwendigkeit zu folgern. Denn wenn ein gelöster Körper in die inneren strömenden Partien eines Protoplasmakörpers gelangt, dann muss er auch in diesem vertheilt werden, so gut oder vielmehr weit eher als feste Körper, welche mechanisch durcheinander geworfen werden; natürlich sind hier solche Fälle ausser Acht zu lassen, wo durch Bindung an bestimmte Theile des Protoplasmas ein neues Vertheilungsmoment hinzutritt. Ausserdem ist ja in lebensthätigen Zellen das Protoplasma, mag nun sein Aggregatzustand und seine Structur sein welche auch immer, jedenfalls kein wirklich fester, vielmehr ein wasserreicher und verhältnissmässig an fester Substanz armer Körper und für einen solchen ist es in der That undenkbar, dass ein leicht diosmirender und sonst indifferenter Körper sich nicht verbreiten sollte. In sehr schleimigen und in gelatinösen Körpern diffundiren und diosmiren erfahrungsgemäss Krystalloide mit grösster Leichtigkeit[1]) und um die Diosmose dieser zu verhindern, müssen ja nothwendig alle mit Wasser erfüllten Räume zwischen den constituirenden Theilchen eines Körpers von entsprechend geringer Weite sein (Vgl. p. 121).

---

1) Vgl. Graham, Annal. d. Chem. u. Pharmacie 1862, Bd. 121, p. 30. Ganz richtig dürfte Graham's Angabe nicht sein, nach welcher die Diffusibilität durch Einfluss der Colloide gar nicht vermindert wird. Denn nach Marignac wird in Lösungsgemischen die Diffusionsschnelligkeit jedes einzelnen Körpers vermindert, doch ist diese Verminderung nur eine geringe für den diffusibelsten Körper. (Marignac, Annal. d. Chim. et de Physique 1874, V ser., Bd. II, p. 561.)

Digitized by Google

Die factisch beobachteten diosmotischen Eigenschaften [1]) des lebenden Protoplasmas sind aber thatsächlich nur solche, welche auch gewisse von Traube's Niederschlagsmembranen darbieten, mit deren Kenntniss somit jene Eigenschaften unbedingt nicht mehr als ausschliessliche Eigenthümlichkeit des lebenden Organismus angesprochen werden konnten. Von vornherein lag es jetzt nahe, in der peripherischen Schicht, welche ja thatsächlich über Aufnahme oder Nichtaufnahme eines Stoffes entscheidet, eine Membran zu vermuthen, die natürlich ohne Beeinträchtigung des qualitativen diosmotischen Verhaltens, so gut wie eine Niederschlagsmembran, sogar von minimaler Dicke sein könnte. Zu Gunsten einer Membran spricht auch der schon erwähnte Umstand, dass durch schleimige und gelatinöse Massen krystalloide Stoffe leicht diosmiren, welche die peripherische Schicht des Protoplasmas nicht zu durchdringen vermögen. Da ferner die peripherische Schicht aus einem an sich (in wasserfreiem Zustand) festen Körper gebildet wird und die mit Rücksicht auf die diosmotischen Eigenschaften nothwendig engen Interstitien eine dichte Lagerung der die peripherische Schicht constituirenden Theilchen (Tagmen) fordern, so wird auch aus diesem Gesichtspunkt der feste Aggregatzustand für diese diosmotisch bestimmende Schicht wenigstens wahrscheinlich. Weiter ist in vorhin erörterter Weise getödtetes Protoplasma von einer zweifellosen Membran umkleidet, welche in ihren diosmotischen Eigenschaften mit der peripherischen Umhüllung des lebenden Protoplasma übereinstimmt. Auf Grund dieser gesammten Erwägungen ist es aber im höchsten Grade wahrscheinlich, dass auch schon der lebende Protoplasmakörper allseitig, gegen Zellhaut und Zellsaft hin, von einer wirklichen, im nicht wachsthumsfähigen Zustand widerstandsfähigen Membran umgeben ist, über deren vielleicht nur geringe Dicke und unbestimmte Abgrenzung gegen das Hyaloplasma schon das Nöthige gesagt wurde.

Zur Beurtheilung der diosmotischen Vorgänge in lebenden Zellen ist es übrigens gleichgültig, ob die peripherische Umkleidung des Protoplasmas als resistente Membran oder als zähflüssige Schleimschicht betrachtet wird, jedenfalls folgt ja diese Umhüllung vermöge ihrer Wachsthumsfähigkeit einer mechanischen Dehnung wie ein zähflüssiger Körper. Darüber kann aber bei gesunder Erwägung der Thatsachen kein Zweifel sein, dass die bekannten diosmotischen Eigenschaften des Protoplasmas

[1]) Hierzu gehört auch die ansehnliche Druckhöhe, welche in Pflanzenzellen trotz geringer Concentration der wirkenden Lösung zu Stande kommt. Auch in dieser Hinsicht wirkt die Plasmamembran analog wie eine Niederschlagsmembran mit engen Interstitien. Mehr darüber bringen spätere Kapitel.

Digitized by Google

durch die peripherische Schicht bestimmt werden. Gleiches Aussehen, gleiche Entstehung, sowie Uebereinstimmung in diosmotischen und anderweitigen Eigenschaften lässt kaum Zweifel darüber zu, dass die hyaline membranartige Schicht um lebensfähige Protoplasmakörper und zu Lebensäusserungen unfähige Vacuolen, wie sie in Wasser tretendes Protoplasma bilden kann, ihrem physikalischen Aufbau nach gleichwerthig ist[1]. Für solche Gleichwerthigkeit, auch derjenigen Plasmamembran welche coagulirtes und zur Vermittelung des Wachsthums unfähiges Protoplasma umschliesst, sprechen noch andere diosmotische Eigenschaften, welche in Folgendem dargelegt werden sollen. Freilich vermag eine Anzahl übereinstimmender diosmotischer Beobachtungen physikalische und chemische Identität zweier Membranen nicht zu zweifelloser Gewissheit zu erheben und unmöglich ist es ja in unserem Falle nicht, dass eben dieselben Ursachen, welche in dem umschlossenen Protoplasma Zersetzungen bewirken, auch an der Membran nicht spurlos vorübergehen, ohne doch solche Structuränderungen herbeizuführen, welche eine auffallende Aenderung der diosmotischen Eigenschaften mit sich bringen. Zu endgültiger Entscheidung über Zweifel dieser Art fehlen thatsächliche Anhaltspunkte.

Das Verhalten gegen verdünnte Säuren und Alkalien, sowie gegen Quecksilberchlorid und Jod, wurde ganz übereinstimmend gefunden, sowohl für die Plasmamembran, welche lebendes, als die, welche todtes Protoplasma umkleidet. Es wurde schon bei anderer Gelegenheit (p. 135) mitgetheilt, wie Aenderung der Färbung in gefärbten Zellsäften das rapide Eindringen selbst äusserst verdünnter Salzsäure — und gleiches gilt für Essigsäure und Schwefelsäure — anzeigt, wie weiter die Säure wieder diosmotisch entfernt und der alte Farbenton restaurirt werden kann. Analoges gilt nun auch für Ammoniak, das ich in sehr grosser Verdünnung (1 Tropfen Liqu. Amm. caust. auf 15 bis 30 Cub.-Ctm. Flüssigkeit) auf Pflanzenzellen einwirken liess. Röthlicher Zellsaft in Blumenblättern von Pulmonaria und Staubfadenhaaren von Tradescantia[2] bläut sich sogleich, um mit weiterem Zutritt von

1) Diejenigen, welche annehmen wollen, dass die Plasmamembran zwar um Vacuolen sich bilde, um lebendes Protoplasma aber nicht bestehe, müssen das in diosmotischer und anderer Hinsicht identische Verhalten, d. h. ein Factum, erklären, ehe solche Annahme Berechtigung hat, welche auch nicht einmal in den optischen Wahrnehmungen eine Stütze findet. Es kommt bei diesen Fragen über physikalische Constitution der oberflächlichen Protoplasmabegrenzung natürlich gar nicht darauf an, welche besonderen Functionen während der Lebensthätigkeit in der Plasmamembran und vermittelst dieser ausgeführt werden.

2) Säuren und Ammoniak dringen nur äusserst langsam durch die Cuticular-

Digitized by Google

Ammoniak allmälig grünliche und grauliche Färbung anzunehmen [1]). Doch kehrt auch hier, wenn das Ammoniak nicht zu lange einwirkte, die blaue Färbung bei Auswaschen mit Wasser langsam zurück. Dabei wurde das Protoplasma während dieses diosmotischen Austausches nicht getödtet, denn die Protoplasmaströmungen in den Staubfadenhaaren von Tradescantia, welche die Einwirkung des Ammoniaks aufgehoben hatten, werden mit Entfernung dieses allmälig wieder in normaler Weise hergestellt [2]). Ganz ähnlich wie Ammoniak wirken auch verdünnte Lösungen von Kali und Kalicarbonat.

Wenn verdünnte Säuren und Alkalien die diosmotischen Eigenschaften der Plasmamembran nicht ändern, so geschieht dieses doch in auffallender Weise durch Jod und Quecksilberchlorid. Ganz verdünnte Lösungen beider (ich wandte Sublimatlösung von $^1/_5$ und $^1/_2$ Procent Gehalt und durch Jod schwach gefärbtes Wasser an) dringen schnell in Protoplasma und Zellsaft, wie die Färbung von Proteinstoffen und eventuell von Stärkekörnern durch Jod und die sehr entschiedene Farbenänderung anzeigt, welche Sublimat in gefärbten Zellsäften hervorruft. Bald beginnt dann eine nur allmälige diosmotische Entfernung des Farbstoffes, und eben dieses beweist, dass es sich hier nur um moleculare Aenderungen in der Plasmamembran, nicht um Zerreissung dieser handelt. Die zur Entfärbung nöthige Zeit kann auf Stunden ausgedehnt werden, wenn man die genannten Reagentien nach kurzer Einwirkung auswäscht und in diesem Falle ist es auch klar, dass der Farbstoff nicht durch Zerstörung, sondern durch Diosmose verschwindet. Ob nun Jod und Sublimat schon durch die normale Plasmamembran diosmiren oder erst eindringen, nachdem sie moleculare Veränderungen in dieser hervorriefen, kann ich zur Zeit nicht entscheiden [3]).

---

schicht der Staubfadenhaare von Tradescantia, wohl aber schnell durch die die Zellen trennende Querwand. Infolge dessen verbreiten sich diese Stoffe von einer durchschnittenen Zelle aus und die Reaction ist in den aneinandergereihten Zellen in entsprechend verschiedener Intensität zu finden.

1) Diese Wirkung von Ammoniak wurde schon von de Vries beobachtet. De Vries, Sur la perméabilité du protoplasma des betteraves rouges p. 8 des Separatabdruckes und Sur la mort des cellules végétales p. 36 d. Separatabdruckes. Beide Arbeiten finden sich in Archives Néerlandaises 1871, Bd. VI.

2) Vgl. auch Hofmeister, Pflanzenzelle p. 53, wo gleiches für Kalilösung mitgetheilt wird.

3) Auf das Protoplasma können Stoffe natürlich nur dann wirken, wenn sie die Plasmamembran zu durchdringen vermögen. Ob sich der Indifferentismus gegen entschiedene Gifte, wie gegen Veratrin so erklärt, oder ob diese Körper für das Protoplasma nicht schädlich sind, muss durch das Experiment entschieden werden. Kühne (Untersuchungen über das Protoplasma 1864, p. 100) fand das Protoplasma in Staubfadenhaaren von Tradescantia noch in strömender Bewegung, nachdem das

Digitized by Google

Aus schon mitgetheilten Thatsachen lässt sich ganz allgemein ableiten, dass im Protoplasma und Zellsaft enthaltene Stoffe auch durch die coagulirtes Protoplasma umkleidende Membran nicht in erheblicher Weise diosmiren. Denn eine Verminderung oder Vermehrung osmotisch wirkender Stoffe innerhalb des Protoplasmas oder Zellsaftes müsste auch eine veränderte osmotische Druckwirkung, im negativen oder positiven Sinne, zur Folge haben und hierdurch würde die nicht mehr wachsthumsfähige und einer Widerlage nicht angepresste Plasmamembran zersprengt werden, was erfahrungsgemäss nicht zutrifft. Thatsächlich reicht aber zu solcher Zersprengung, sobald die Wachsthumsfähigkeit total vernichtet ist, der durch geringe Concentrationsdifferenz bewirkte osmotische Ueberdruck aus, indem die Plasmamembran der Zellen in rother Rübe schon zerriss, wenn die zur Contraction angewandte Zuckerlösung durch eine andere, $^1/_4$ Procent Zucker weniger enthaltende verdrängt wurde. Das soeben Gesagte ist zur Beurtheilung solcher Versuche wohl ins Auge zu fassen, in welchen die Bedingungen zur Wachsthumsfähigkeit der Plasmamembran aufgehoben werden. Denn durch Coagulation von Proteinstoffen und ebenso durch andere chemische Processe, wird der osmotische Druck des Zellinhaltes variiren und Zersprengung der Plasmamembran herbeiführen können, wenn diese Druckschwankungen eintreten, nachdem die Plasmamembran nicht mehr wachsthumsfähig ist. In dieser Hinsicht sind natürlich specifische Verschiedenheiten an ungleichen Objecten möglich und es ist auch nicht undenkbar, dass derartige Druckverhältnisse bei der endlichen Entfärbung der von mir zu Experimenten benutzten Objecte eine Rolle mitspielten.

Die einmal ausgeschiedene Plasmamembran ist gegen Reagentien auffallend widerstandsfähig. Mässig verdünnte Säuren und Alkalien lassen bei längerem Stehen in gewöhnlicher Temperatur, wie auch beim Kochen, die allerdings zuweilen in Stücke gerissene Plasmamembran ungelöst zurück; so fand ich es wenigstens für Staubfadenhaare

---

Object während 17 Stunden in wässriger Veratrinlösung gelegen hatte. Dagegen sollen nach demselben Autor (l. c., p. 86) Myxomyceten in wässriger Veratrinlösung absterben. — An mikroskopischen Schnitten aus rothen Rüben, welche in eine gesättigte (ungefähr 5procentige) Lösung von Morphiumacetat gelegt waren, fand ich noch nach 10 Tagen einzelne Zellen mit normal gefärbtem Zellsaft erhalten. Näheren Aufschluss über die Art und Weise der Wirkung dieses und anderer Gifte zu bekommen, habe ich nicht versucht.

Digitized by Google

von Tradescantia, Wurzelhaare von Hydrocharis und auch für die eben erst aus Vaucheria-Protoplasma gebildeten Vacuolen. In allen diesen Fällen waren übrigens auch gewisse Partien des übrigen Protoplasmakörpers ungelöst geblieben, wie namentlich nach Färbung mit Jod zu übersehen war. Trotz dieser Resistenz gegen die genannten und auch andere Reagentien vermag das Protoplasma die Plasmamembran zu lösen oder wenigstens in einen erweichten Zustand überzuführen, der eine Vertheilung der Substanz im Protoplasma ermöglicht. Es geht dieses aus dem Verschmelzen von Plasmodien, Schwärmsporen und anderen Objecten hervor und thatsächlich war ich nicht im Stande in der Masse, welche durch Vereinigung ganz winziger Plasmodien von Aethalium gebildet worden war[1], weder direct, noch nach Behandlung mit Kali und Säure eine Spur von Membranstücken zu entdecken. Uebrigens habe ich auch an zwei Vacuolen, welche sich aus Protoplasma der Wurzelhaare von Hydrocharis in 3procentiger Zuckerlösung gebildet hatten, eine Verschmelzung der nur dünnen Protoplasmaschicht verfolgen können. Es geht hieraus hervor, dass die Auflösung der Plasmamembran nicht unmittelbar von der Lebensthätigkeit des Organismus abhängt, sondern, wie ja auch nicht anders zu erwarten, durch die Existenz eines specifischen Lösungsmediums bedingt ist.

Vermag aber das Protoplasma die Substanz der Membran zu lösen[2], so wird diese nothwendig nur eine bestimmte Dicke erreichen können, welche aus dem Widerstreit der Auflösung von Innen her und der Neubildung durch Fällung bei Contact mit Wasser resultirt (vgl. p. 124). Die Beachtung dieses Vorganges ist unerlässlich, wenn es sich um Deutung der bekannten Erscheinungen handelt, welche bei Contraction von Protoplasmakörpern durch wasserentziehende Mittel beobachtet werden. Contrahirte Protoplasmakörper zeigen bekanntlich, auch wenn die Volumabnahme sehr ansehnlich war, doch keine gefaltete Oberfläche und dieser Umstand würde ein schlagender Beweis gegen die Existenz einer resistenten und nur wenig elastisch gedehnten Membran sein, wenn nicht dasselbe Phänomen, in Folge der auflösenden Wirkung

1) Es wurden diese Plasmodien zuvor einmal in Wasser getaucht, um die Existenz der Plasmamembran ausser Zweifel zu setzen. An contractilen Vacuolen kann die Plasmamembran unter den obwaltenden Umständen vorhanden sein, auch wenn jene vorübergehend vollkommen verschwinden. — Vgl. Strasburger, Studien über Protoplasma p. 37.

2) Ich spreche hier der Kürze halber von »lösen«, obgleich einfache Auflockerung und Vertheilung der Membrantheilchen möglich ist. Hierüber ist übrigens an einer früheren Stelle gesprochen worden.

Digitized by Google

des Protoplasmas, bei Vorhandensein einer dünnen Niederschlagsmembran herbeigeführt werden könnte[1]).

Eine minimale elastische Spannung ist für eine Niederschlagsmembran, auch bei Gegenwart der Membranogene, zuzugeben und die dann mit nachlassender dehnender Kraft unausbleibliche minimale Verdickung der Membran wird in unserem Falle durch die auflösende oder auflockernde Wirkung des Protoplasmas ausgeglichen, welche, ceteris paribus, die Membran auf die anfängliche Dicke reduciren muss. Mit partieller oder totaler Auflösung einzelner Membrantheilchen (Tagmen) ändern sich die Resultanten der die relative Lagerung der Tagmen bestimmenden Molecularkräfte und mit dem Uebergang in eine neue Gleichgewichtslage ist auch in fester Membran natürlich eine Verschiebung der Tagmen möglich. Bei Continuität dieser Vorgänge kann dann aber eine beliebige Flächenabnahme der auf gleicher, geringer Dicke verharrenden Membran zu Stande kommen.

Ich muss dahin gestellt sein lassen, ob die unregelmässige Gestaltung der Oberfläche, welche Protoplasmakörper, während sie sich contrahiren, nicht selten zeigen, in Beziehung zu dem fraglichen Auflösungsvorgang steht, da dieser Erscheinung ebensowohl andere Ursachen zu Grunde liegen können. Jedenfalls fordert aber, eine an sich resistente Membran zugegeben, die verhältnissmässig schnelle Abrundung der Oberfläche eine verhältnissmässig schnelle Abwicklung des soeben seinem Principe nach entwickelten Vorganges. Indess vermag dieses Postulat kein Bedenken zu erwecken, da schliesslich die Entfernung constituirender Tagmen ebenso schnell möglich sein kann, als der umgekehrte Vorgang, die Einschiebung neuer Tagmen bei dem eventuell ja sehr rapidem Flächenwachsthum der Membran[2]). Eine Reihe von Fragen, welche sich an dieses hier behandelte Thema knüpfen, übergehe ich, da es mir wesentlich nur darum zu thun war, zu demonstriren, dass die Contractionserscheinungen am Protoplasma nicht ohne weiteres als Argument gegen das Vorhandensein einer an sich widerstandsfähigen Membran zu Felde geführt werden können.

---

1) Nach Vernichtung der Wachsthumsfähigkeit wurde die Plasmamembran bei versuchter Contraction zu leicht zersprengt und so konnte nicht verfolgt werden, wie sich die Faltung in diesem Falle gestalten würde. — Eine künstliche Niederschlagsmembran wird natürlich Falten bilden, wenn nicht analoge Vorgänge wie die hier in Betracht gezogenen im Spiele sind.

2) Gleich schnelles Flächenwachsthum durch Intussusception (nicht durch Eruption) ist übrigens an anorganischen Zellen aus gerbsaurem Leim möglich.

Digitized by Google

Ueber die chemische Zusammensetzung der Plasmamembran kann ich zwar kein endgültiges Urtheil fällen, doch spricht die Wahrscheinlichkeit dafür, dass, wie auch schon Mohl[1]) für den Primordialschlauch annahm, Proteinstoffe mindestens am Aufbau der Plasmamembran Theil nehmen, falls diese nicht ganz aus diesen Körpern besteht. Eine gelbbraune Färbung mit Jod glaube ich, soweit an dünnen Objecten überhaupt ein Urtheil möglich ist, in dem ganzen hyalinen Saum und auch da noch wahrnehmen zu können, wo dieser eine so geringe Dicke besitzt, dass er wohl nur Plasmamembran sein dürfte. Gleiche Reaction gibt auch Chlorzinkjod, sowohl bei directer Anwendung, wie auch nach zuvoriger Behandlung der Objecte mit Kali und Säure. Auch Anilinblau scheint aufgespeichert zu werden, dagegen bin ich nicht im Stande zu sagen, ob mit Millon's Reagens und mit Salpetersäure die für eiweissartige Stoffe bekannte Reaction eintritt.

Wie die vorgenannten Reactionen spricht auch das früher (p. 141) mitgetheilte Verhalten der Plasmamembran gegen Quecksilberchlorid, welches auf eine chemische Verbindung des Quecksilbers mit einem Membranbestandtheil entschieden hinweist, für Anwesenheit eiweissartiger Körper. Wenigstens ist es Thatsache, dass diese mit Sublimat chemische Verbindungen eingehen, während gleiches für Kohlehydrate und Pectinstoffe, welche man ausserdem zunächst als Constituanten der Membran vermuthen könnte, nicht bekannt ist.

Die Unlöslichkeit der Plasmamembran in mässig verdünntem Kali stimmt allerdings nicht mit dem Verhalten derjenigen Proteinstoffe, welche bis dahin aus vegetabilischen Organismen dargestellt wurden. Allein sich ähnlich verhaltende, scheinbar eiweissartige Stoffe, wie Chitin, Elastin u. a. sind aus dem Thierreiche längst bekannt, und aus Pflanzen konnten diese Körper bei der bisher üblichen Darstellung der Proteinstoffe überhaupt nicht erhalten werden. Thatsächlich scheint aber Protoplasma sehr gewöhnlich, wenn nicht immer, bei Behandlung mit mässig concentrirten Alkalien und Säuren, auch noch ausser der Plasmamembran unlösliche Stoffe zurückzulassen, welche die gewöhnlichen Reactionen von Proteinstoffen zeigen[2]). Ehe aber diese unlöslichen Stoffe chemisch untersucht worden sind, kann man keine sicheren

---

1) Bot. Zeitung 1844, p. 305 u. 1855, p. 694.

2) Solche Proteinstoffe könnten im lebenden Protoplasma eventuell gelöst sein und erst mit der Tödtung ausgeschieden werden. Dann würde auch die Art und Weise der Behandlung lebender Zellen auf die Löslichkeit der Proteinstoffe Einfluss haben können. — Siehe auch de Vries, Sur la mort des cellules végétales p. 18 u. 31 des Separatabdruckes aus Archiv. Néerlandaises Bd. VI, 1871.

Digitized by Google

Schlussfolgerungen auf Grund des Verhaltens gegen die genannten Reagentien ziehen und so kann z. B. auch das Vorhandensein von Pektinstoffen nicht deshalb negirt werden, weil alle bis jetzt bekannten Körper dieser in chemischer Hinsicht noch so dunklen Gruppe durch Kali in lösliche Form übergeführt werden.

So lange die chemische Beschaffenheit der Plasmamembran und des Membranbildners nicht sicher gestellt sind, wird sich über das im Protoplasma vorhandene lösende Vehikel kaum Aufschluss erhalten lassen. Das Verhalten der Plasmamembran gegen Kali und andere Reagentien kann natürlich hinsichtlich der Existenz einer Lösung des Membranbildners und der lösenden Wirkung des Protoplasmas auf die Plasmahaut kein Bedenken erwecken [1]). Die Frage nach den Mitteln, durch welche jene Lösung bewerkstelligt wird, muss offen bleiben, doch wird man, falls es sich um Proteinstoffe handelt, an Pepsin oder ähnlich wirkende Stoffe zunächst denken, da jenes ja thatsächlich unter bestimmten Bedingungen coagulirte Eiweissstoffe ziemlich schnell löst, welche durch verdünntes Kali kaum in Lösung gebracht werden.

Die Aufhebung der Bedingungen zur Bildung der Plasmamembran dürfte auf chemischer Zersetzung der Lösung des Membranbildners, ohne diosmotische Entfernung des lösenden oder des gelösten Stoffes, in dem Falle beruhen, wo ohne Aenderung der diosmotischen Eigenschaften der Plasmamembran die Wachsthumsfähigkeit dieser vernichtet wird. Es spricht jedenfalls hierfür die schnelle Wirkung von Salzsäure im Vergleich zu der verhältnissmässig langen Zeitdauer, welche ohne Zuthun von Reagentien zur Erreichung des fraglichen Zustandes nothwendig ist und es liegt die Annahme nahe, dass unter den durch Salzsäure im Protoplasma ausgeschiedenen Stoffen auch der zuvor gelöste Membranbildner sich befindet. Anwesenheit von etwas Kali oder Ammoniak und ebenso das gleichzeitige Vorhandensein von Kochsalz in der umgebenden Flüssigkeit hebt weder die Wachsthumsfähigkeit der Plasmamembran auf, noch wird dadurch die Bildung dieser verhindert, wie sich bei Zerdrücken von Protoplasmamassen in einer Flüssigkeit ergibt, welche jene Körper gelöst enthält. Zu diesen Versuchen veranlasste mich die Thatsache, dass im Hühnereiweiss eine kleine Menge eines Proteinstoffes durch Salze gelöst erhalten wird und sich sowohl

---

1) Auch Zellhaut würde durch die genannten Reagentien nicht gelöst werden, während sie doch durch und in vegetabilischen Organismen gelöst wird. Solches kommt z. B. vor beim Eindringen von Pilzen, bei gewissen Keimungsprocessen und beim Uebergang von Sclerotien der Myxomyceten in bewegliche Plasmodien.

Digitized by Google

beim Verdünnen mit Wasser, als auch bei diosmotischer Entziehung der lösenden Salze mehr oder weniger vollständig ausscheidet [1]).

Nach den empirischen Erfahrungen wird eine Plasmamembran überall vorhanden sein, wo Protoplasma an eine andere wässrige Flüssigkeit stösst, aber wir können, wie früher gezeigt wurde, nicht behaupten, dass allein unter dieser Bedingung Plasmamembran gebildet wird. Dieses ist auch zu beachten, wenn wir uns die Frage vorlegen, ob innerhalb des Protoplasmakörpers vorkommende und selbst aus protoplasmatischer Masse bestehende Gebilde, wie z. B. Zellkern und Farbstoffkörper von einer Plasmamembran begrenzt sind, eine Frage, welche, wie aus Folgendem zu ersehen ist, in mehrfacher Hinsicht bedeutungsvoll ist.

Wird ein Zellkern oder ein Chlorophyllkorn isolirt in solche Zuckerlösung gebracht, welche eine eben bemerkliche Abhebung des Protoplasmakörpers von der Zellhaut zu bewirken vermochte, so ist Gestalt und Aussehen wesentlich dasselbe, wie es die im Protoplasma liegenden Gebilde darboten. Bei Verdünnung der Zuckerlösung nimmt das Volumen dieser Gebilde zu und in reinem Wasser ist Desorganisation in bekannter Weise das endliche Resultat [2]). Das Vorhandensein der Plasmamembran folgt aus dem zu beobachtenden diosmotischen Verhalten und aus der soeben bezeichneten osmotischen Wirkung der Inhaltsstoffe; zugleich zeigt das so bewirkte Flächenwachsthum, dass verwendbares Bildungsmaterial für die Plasmamembran vorhanden ist. Ob die Plasmamembran schon innerhalb des Protoplasmas besteht, kann natür-

---

1) Vgl. Aronstein, Pflüger's Archiv 1873, Bd. VIII, p. 82, und Heynsius, ebenda 1874, Bd. IX, p. 528. — Saugt man etwas Hühnereiweiss in eine Glascapillare und taucht dann die Spitze dieser in Wasser, so bildet sich um den hervortretenden Tropfen scheinbar eine Membran, welche aber thatsächlich keine geschlossene Membran, sondern ein loses Aggregat von Stücken der Häute ist, welche das Eiweiss von Vogeleiern durchsetzen. So bilden sich auch beim Eintragen von Eiweisstropfen in Wasser Aggregate von Häutchen, welche Monoyer irrigerweise als eine das Eiweiss umgebende geschlossene Membran anzusehen scheint (Bullet. d. l. soc. chim. d. Paris 1866, p. 444). Enthäutetes Eiweiss zeigt denn auch diese Erscheinung nicht mehr, sondern es trübt sich einfach der in Wasser übertretende und sich darin diosmotisch vertheilende Tropfen, weil aus dem im Text angegebenen Grunde eine nur kleine Menge eines Eiweissstoffes ausgeschieden wird. — Das Enthäuten des Eiweisses ist schneller, als durch anhaltendes Zerschneiden mit der Scheere (Kühne, Physiol. Chemie 1868, p. 352), durch kräftiges Zusammenschütteln mit kleinen Glasscherben zu erreichen.

2) Ueber die Veränderung der Chlorophyllkörner vgl. Nägeli u. Schwendener, Mikroskop 1867, p. 553.

Digitized by Google

lich aus diesen Beobachtungen nicht sicher entnommen werden und zur Zeit vermag ich diese Frage nicht zu beantworten. Wie hier besondere Schwierigkeiten entgegenstehen, wie namentlich auch aus der Beschränkung von an sich vielleicht in Wasser löslichen Farbstoffen auf gewisse Farbstoffkörper kein Schluss hinsichtlich der Plasmamembran gezogen werden kann, ist ja ohne weiteres ersichtlich.

Ein Bestehen der Plasmamembran würde aber nicht möglich sein, wenn im Zellkern, resp. Chlorophyllkorn und dem umgebenden Protoplasma Bildungsmaterial und Lösungsmedium für jene in ganz identischer Weise vorhanden wären und eben mit Rücksicht hierauf verdient die aufgeworfene Frage ganz besondere Beachtung. Allerdings sind ja jene differenzirte Gebilde sicher nicht qualitativ identisch und mit der Differenzirung selbst könnte möglicherweise die Ursache zur Abgrenzung durch eine besondere peripherische Umkleidung gegeben sein, wie dem aber auch sei, eine Reihe offener Fragen bietet sich jedenfalls hier dar, welche ich nicht speciell ausmalen will. Thatsächlich ist ja auch hinsichtlich der causalen Entstehung der Plasmamembran (resp. des Hyaloplasmas), wie ich schon früher darlegte, noch mancher dunkle Punkt zu erledigen und ich möchte deshalb nachdrücklich davor warnen, das Auftreten membranartiger Schichten bei Zellbildung und Zelltheilung voreilig causal erklären zu wollen. Auf unsere Erfahrungen gestützt können wir nur behaupten, dass Plasmamembran (vielleicht auch Hyaloplasma) dann entstehen muss, wenn durch irgend welche vitale Vorgänge eine Sonderung herbeigeführt wird, in Folge derer Protoplasmamassen in eine andere wässrige Flüssigkeit eingebettet werden, welche nicht auflösend auf die Plasmamembran wirkt, aber wir können nicht sagen, dass eine Sonderung dieser Art zur Erzeugung einer Plasmamembran nothwendig ist.

Finden sich membranartige Schichten um in Zellsaft befindliche Körper, so darf man diese, gemäss unserer früheren Definition, nicht als Plasmamembran bezeichnen, auch wenn sie mit dieser in chemischer und physikalischer Hinsicht übereinstimmen sollten. Solches könnte sehr wohl dann möglich sein, wenn farblose Vacuolen im Zellsaft herumschwimmen [1]). Eine zweifellose Niederschlagsmembran, über deren Entstehungsmodus freilich Untersuchungen erst noch Licht schaffen müssen, umkleidet die Gerbsäuretropfen, welche sich in den Gelenkzellen von Mimosa pudica besonders schön finden [2]). Ob die Oelkörper

1) Siehe z. B. Nägeli, Pflanzenphysiol. Untersuchungen 1855, I, p. 9.

2) Pfeffer, Physiol. Untersuchungen 1873, p. 12. — Nach Hildebrandt (Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. III, p. 61) finden sich im Zellsaft der Blüthen von Strelitzia

Digitized by Google

der Lebermoose, Proteinkörner und andere Gebilde im Zellsaft der lebenden Zelle mit einer diosmotisch massgebenden Membran umkleidet sind, lasse ich dahin gestellt. In dem wässrigen Zellsaft sind begreiflicherweise Bedingungen für Bildung einer Niederschlagsmembran nicht in der Weise, wie im Protoplasma gegeben, ob dieses aber dann der Fall ist, wenn der Zellsaft reicher an Proteinstoffen wird, wie in reifenden Samen, muss erst noch entschieden werden. Positiven Falles würden hier ähnliche Fragen aufzuwerfen sein, wie hinsichtlich der Abgrenzung von Gebilden, welche innerhalb des Protoplasmas liegen.

Es muss sich nothwendig die Frage aufdrängen, ob die in und um Protoplasma und ebenso die im Zellsaft sich findenden Niederschlagsmembranen physikalisch und chemisch identisch sind. Hinsichtlich der chemischen Zusammensetzung fehlt jeder Anhaltspunkt für ein Urtheil und einen physikalischen Unterschied haben die bis dahin beobachteten diosmotischen Eigenschaften nicht zu Tage gefördert. Allein dieses will wenig sagen, da die Beobachtungen kleine Differenzen übersehen lassen mussten und weil ferner die diosmotische Ungleichwerthigkeit zwar durch ein einziges positives Resultat bewiesen, durch einige negative Resultate aber nicht ausser Frage gestellt wird. In der That muss man diosmotische Differenzen eher für wahrscheinlich, als für unwahrscheinlich halten, schon deshalb, weil unsere Membranen in verschiedenen Fällen an ungleich zusammengesetzte Medien stossen, welche die Eigenschaften möglicherweise schon dadurch modificiren könnten, dass sie Quellung oder Schrumpfung der Membran bewirken oder auch indem sie zur Entstehung einer in ihrem molecularen Aufbau abweichenden Membran Veranlassung geben. Es ist ja möglich, dass ein nicht in allen Fällen vorhandener Körper eine chemische Vereinigung mit dem Membranbildner eingeht und weiter ist zu berücksichtigen, dass Infiltration, d. h. Einschiebung fremdartiger Theilchen, wie Traube[1]) zeigte, das diosmotische Verhalten von Niederschlagsmembranen verändern kann.

19. Bemerkungen über Molecularstructur.

Sehen wir die Plasmamembran als Niederschlagsmembran an, so werden wir jener auch einen analogen Aufbau zuerkennen, d. h. die

---

Regina und Tillandsia amoena Farbstoffkörper mit einem in Wasser löslichen Farbstoff. Ob dieser durch eine umkleidende Membran oder anderweitig zurückgehalten wird, müsste erst entschieden werden.

1) Archiv f. Anatomie u. Physiologie 1867, p. 141.

Digitized by Google

Plasmamembran als Syntagma ansprechen. Hierfür spricht ja auch die Wahrscheinlichkeit, indem Proteinstoffe, aus welchen die Plasmamembran zu bestehen scheint, sicher Colloide[1]) sind und angeführt könnte wohl auch werden, dass Niederschlagsmembranen bis dahin nur für colloidale Körper bekannt sind, für welche wir nach früherer Discussion eine Zusammenlagerung der Molecüle zu Tagmen anzunehmen haben (vgl. p. 33). Ob nun die constituirenden Tagmen an sich wasserhaltig sind oder ob sich nur intertagmatisches Wasser in der imbibirten Niederschlagsmembran findet, lässt sich zur Zeit nicht mit einiger Gewissheit folgern und ebenso muss die Gestalt der Tagmen dahin gestellt bleiben, deren chemische Qualität ja auch noch endgültig zu ermitteln ist.

Eine künstliche Niederschlagsmembran ist auch ein »organisirter Körper«, dessen molecularer Aufbau, wie ihn Nägeli erschloss, nur einen speciellen Fall eines Syntagmas ausmacht. Syntagma haben wir einen aus Tagmen aufgebauten Körper genannt, gleichviel ob er quellungsfähig ist oder nicht (siehe p. 34), wenn aber ein Syntagma in begrenzter Weise quellungsfähig ist, dann liegt ein organisirter Körper im Sinne Nägeli's vor.

Nägeli hat in die Definition organisirter Substanz, wie er sie späterhin aufstellte[2]), krystallinische oder wenigstens polyedrische Form der Tagmen aufgenommen, kommt damit aber in Widerspruch mit seinen eigenen scharfsinnigen Erwägungen, nach welchen in jugendlichen Stärkekörnern und Zellmembranen die Tagmen Kugelgestalt haben müssen[3]), und thatsächlich sind ja auch begrenzte Quellungsfähigkeit und andere wahrnehmbare Eigenschaften der organisirten Körper mit jeder Form der Tagmen verträglich. Auch die Forderung, Wasser solle nur intertagmatisch, nicht aber in die Tagmen selbst aufgenommen werden, muss man fallen lassen. Dass Wasser in die Constitution eines Tagmas eintreten kann, ist ja fraglos (vgl. p. 35) und Nägeli[4]) selbst

---

1) Graham, Annal. d. Chem. u. Pharm. 1862, Bd. 121, p. 61.

2) Botanische Mittheilungen I, p. 203 (Sitzungsb. der Münchener Academie 8./3. 1862) und Mikroskop 1867, p. 420. — Nach Abschluss dieses Manuscriptes erschien die 2. Auflage des Mikroskopes von Nägeli und Schwendener, in welcher die näheren Bestandtheile der organisirten Substanz Micellen genannt sind (p. 424). Demgemäss wird hiermit nur eine besondere Art von Molecülverbindung (Tagma) bezeichnet und in der Chemie wird man schwerlich das an Zelle erinnernde Wort in erweitertem Sinne für Molecülverbindung einführen wollen.

3) Die Stärkekörner 1858, p. 336 u. 361.

4) Ebenda, p. 353.

Digitized by Google

hat diese Möglichkeit früher erwähnt, später aber nicht mehr discutirt. Constitutionswasser zugegeben, werden aber Körper beim Trocknen jenes oder einen Theil jenes verlieren und bei Wasserzutritt wieder aufnehmen, was ja bei manchen Hydraten colloidaler Körper thatsächlich zutrifft. Kehrt ein solcher Körper bei erneuerter Wasseraufnahme wieder auf den ursprünglichen Zustand zurück, dann ist kein Grund vorhanden, ihn nicht organisirt zu nennen, wenn er solches nach seinen anderen Eigenschaften ist. Natürlich ändert sich mit solchem schwankenden Wassergehalt vorübergehend die Constitution des Tagmas und absolute Constanz dieser Constitution unter variablen Bedingungen darf nicht in der Definition der organisirten Substanz aufgenommen werden. Der Aufbau organisirter Körper aus zwei chemisch differenten Stoffen ist von Nägeli selbst nur als eine den bisherigen Erfahrungen entsprechende Eigenthümlichkeit hingestellt worden und bedarf deshalb hier keiner besonderen Berücksichtigung.

Der Zusammenhalt eines Syntagmas, in welches Flüssigkeit eindringt, ist eine Function der wechselseitigen Anziehung der Tagmen unter sich und dieser zur Flüssigkeit. Mit diesen Grössen kann der Zusammenhalt sich ändern und in einem bestimmten Medium werden sich die Tagmen so vertheilen können, dass eine Lösung entsteht, während derselbe Körper in einer anderen Flüssigkeit nur begrenzt aufquillt. Es ist dieses zu selbstverständlich, um es durch besondere Beispiele zu erläutern, doch möchte vielleicht Gummi oder Dextrin gegenüber Wasser, resp. wasserhaltigem Alkohol ein Demonstrationsobject abgeben. Es wird also ein Körper in Bezug auf eine Flüssigkeit organisirt sein können, während er solches gegenüber einer anderen Flüssigkeit nicht ist und dieses muss auch ins Auge gefasst werden, wenn es sich um Beurtheilung der Structur innerhalb des Organismus befindlicher Körper handelt, welche ja meist in Lösungen, nicht in reinem Wasser liegen.

Mit Rücksicht auf eine bestimmte Flüssigkeit ist also ein »organisirter Körper« ein Syntagma, welches begrenzter und rückgängig zu machender Quellung fähig ist und hierbei Flüssigkeit jedenfalls in intertagmatische Räume, eventuell auch noch in die Tagmen selbst aufnimmt, resp. aus diesen und den intertagmatischen Räumen abgibt. Abgesehen von etwas erweiternden oder beschränkenden Bestimmungen ist dieses übrigens wesentlich Nägeli's Definition der organisirten Substanz. Diese ist im Sinne dieses Forschers jedenfalls nur durch bestimmten molecularen Aufbau, nicht aber durch den Ort ihres Vorkommens charakterisirt und es ist keine Forderung a priori, dass alle

Digitized by Google

geformten organischen Körperbestandtheile eines Organismus auch organisirt sind. Dagegen verknüpft Brücke[1]) keine ganz bestimmte physikalische Vorstellung mit der Bezeichnung »Organisation«, welche im Gegentheil nur aussagen soll, dass im lebenden Organismus eine diesem specifische, noch unbekannte Structur vorliegt und in diesem Sinne ist auch vielfach der lebende Organismus (resp. dessen Theile) als ein organisirter Körper bezeichnet worden. Ich nehme hier von einer Discussion Abstand, ob es nicht vortheilhafter ist, diese letztere Bedeutung der Bezeichnung »Organisation« beizulegen und bemerke nur, dass ich vorläufig »organisirter Körper« im Sinne Nägeli's und als synonym »quellungsfähiges Syntagma« gebrauchen werde.

Die Frage, ob das Protoplasma organisirt ist oder nicht, fordert die Berücksichtigung des umgebenden Mediums, freilich auch noch anderer Verhältnisse, welche mit der Existenz der umschliessenden Plasmamembran zusammenhängen. Vermöge dieser bringen osmotisch wirksame Stoffe einen Druck hervor, welcher bei vielen frei in Wasser gebrachten Protoplasmakörpern zur Ausdehnung dieser und zur endlichen Zerstörung der Molecularstructur führt, während solches unterbleibt, wenn die umgebende Flüssigkeit entsprechend concentrirt ist. Die Plasmamembran verhindert aber auch die Entfernung gelöster Stoffe aus dem Protoplasma, welche eine weitgehende Structuränderung des Protoplasmas nach sich ziehen würde. Ist, so muss nun die Frage lauten, das Protoplasma unter den in der lebensfähigen Zelle gebotenen Bedingungen ein organisirter Körper? Diese rein physikalische Frage hat natürlich zunächst nur einen statischen Zustand ins Auge zu fassen, wie er ja auch im leblosen oder lebensfähigen Protoplasma thatsächlich vorliegen kann, denn die mit der Lebensthätigkeit verknüpfte rastlose Veränderung ist in jedem Falle nur eine Folge der stetigen Aufhebung des Gleichgewichtszustandes durch ein noch dunkles Spiel von Kräften.

Sachs[2]) hat wohl zuerst die Ansicht Nägeli's über den molecularen Aufbau der organisirten Substanz auf das Protoplasma, resp. auf die Grundsubstanz des Protoplasmakörpers zu übertragen versucht. Diejenigen Argumente, welche auf scharfe Abgrenzung des Protoplasmas gegen andere Medien und auf diosmotische Eigenschaften gebaut

---

1) Sitzungsberichte der Wiener Academie 1861, Bd. 44, Abth. 2, p. 386.
2) Experimentalphysiologie 1865, p. 443.

Digitized by Google

wurden, sind jetzt, wie ich nicht speciell darzuthun brauche, unhaltbar und darüber ob Tagmen vorliegen oder nicht, kann auch die Cohäsion des Protoplasmas nicht entscheiden. Existenz von Tagmen macht der Umstand wahrscheinlich, dass die Grundmasse des Protoplasmas augenscheinlich aus Proteinstoffen besteht, welchen wir, weil sie colloidale Körper sind, zu Tagmen aggregirte Molecüle zuerkennen werden[1]). Die durch reichliche Wasserzufuhr veranlasste Entstehung von Vacuolen spricht dafür, dass der von Plasmamembran umkleidete Protoplasmakörper Wasser nur in beschränktem Maasse aufnehmen kann, ohne übrigens, was ich hier nicht speciell zeigen will, ein zweifelloses Argument zu sein. Unter den in der Zelle gegebenen Bedingungen ist die Aufnahme von Wasser in das Protoplasma thatsächlich durch osmotische Wirkungen in bestimmte Grenzen gewiesen, wie dieses weiterhin dargelegt werden soll. Hiernach wird man den Protoplasmakörper, resp. die Grundmasse dieses, weil er aus Tagmen aufgebaut und unter gegebenen Bedingungen begrenzt quellungsfähig ist, einen organisirten Körper nennen, falls für einen solchen nicht ein wirklich fester Aggregatzustand gefordert wird. Denn wirklich fest ist das wasserreiche Protoplasma unbedingt nicht, welches dehnenden Kräften höchstens einen Widerstand wie ein etwas gelatinöser Körper entgegensetzt. Man darf sich hier aber nicht auf die höhere Cohäsion berufen, welche manche geformte protoplasmatische Körper zeigen, da ja der Begriff »organisirt« nicht an chemische Qualität des Materiales, sondern an physikalischen Aufbau geknüpft ist und derselbe chemische Körper, je nach dem Zusammenhalt der Tagmen, organisirt oder nicht organisirt sein könnte. Ich selbst möchte übrigens auch einen nicht wirklich festen Körper, sofern er nur tagmatisch aufgebaut ist und in begrenztem Maasse (unter gegebenen Bedingungen) Wasser aufnimmt, und demgemäss auch das Protoplasma, organisirt nennen.

Die Sachlage hinsichtlich der Organisation bleibt im Princip dieselbe, wenn nur irgend ein Theil des Protoplasmas, sei dieses nun

1) Nach Pflüger's (Archiv f. Physiologie 1875, Bd. X. p. 307, 342 und 344) Auffassung würde der eigentliche lebensthätige Theil des Protoplasmakörpers, analog wie die wirksamen Theile eines Nerven, als ein einziges Riesenmolecül von sog. lebendigem Eiweiss, oder als ein aus netzartiger Verkettung solcher Riesenmolecüle entstandener Körper aufzufassen sein. Soweit es sich einfach um den molecularen Aufbau handelt, besteht zwischen dieser Anschauung und derjenigen, welche tagmatische Structur annimmt, kein wesentlich anderer Unterschied, als ihn die für concrete Fälle noch unerledigte Streitfrage bietet, ob bei chemischer Verbindung atomistische oder moleculare Verkettung stattfand.

Digitized by Google

Grundsubstanz [1]) oder Hyaloplasma oder ein anderes abgegrenztes Gebilde ins Auge zu fassen ist. Sichtbare Structurverhältnisse, wie sie zuweilen im Hyaloplasma beobachtet wurden [2]), können nur zu Gunsten der Organisation und zugleich wohl auch für polyedrische Tagmen sprechen. Es ist übrigens bei solchen Erwägungen nicht immer beachtet worden, dass eine sichtbare Structur auch möglich ist, wenn nicht Tagmen, sondern Molecüle die näheren Körperbestandtheile sind, also dass aus der Structur allein der organisirte Aufbau nicht folgt.

Im Anschluss an das über Plasmamembran Gesagte schien mir obige Darlegung geboten, doch glaube ich die Discussion nicht weiter ausführen zu sollen und auch die Frage, welche näheren Beziehungen zwischen Plasmamembran, Hyaloplasma und Grundsubstanz des Protoplasmas bestehen, will ich nicht an der Hand unzureichender Thatsachen beleuchten [3]). Absolut, d. h. auch physikalisch identisch mit der Plasmamembran kann die eventuelle Grundsubstanz des Protoplasmas mit Rücksicht auf die diosmotischen Vorgänge nicht sein. Beachtet man nun weiter, dass das Baumaterial für die Plasmamembran als Lösung in dem Protoplasma enthalten sein dürfte, so ergeben sich hieraus schon eine Reihe von Gesichtspunkten, welche im Vereine mit anderen Erwägungen wohl im Stande sind, Beurtheilungsmomente und Angriffspunkte zur Aufhellung der soeben aufgeworfenen Fragen abzugeben.

20. Diosmose durch die Plasmamembran.

Die im physikalischen Theil mitgetheilten Untersuchungen wurden angestellt, um Gesichtspunkte zur Beurtheilung der osmotischen Vorgänge in der lebenden Zelle zu gewinnen, deren Protoplasmakörper, wie gezeigt ist, mit einer Plasmamembran [4]) umkleidet ist, welcher

1) Ueber netzförmigen Bau in manchen Protoplasmakörpern vgl. Strasburger, Studien über Protoplasma 1876, p. 20.

2) Hofmeister, Pflanzenzelle p. 24 u. 369; Strasburger, Zellbildung u. Zelltheilung II. Aufl., p. 287. — Solche Structurverhältnisse in dem Hyaloplasma (oder der Plasmamembran) und ebenso besondere Gestaltungen, wie z. B. die Wimpern an Schwärmsporen, hatte ich natürlich nicht nöthig speciell ins Auge zu fassen, während ich die Entstehung der Plasmamembran im allgemeinen verfolgte. Eine Anzahl thatsächliche Beobachtungen theilt Strasburger in »Studien über Protoplasma« mit.

3) Sachs (Lehrb. IV. Aufl., p. 41) hält die Hautschicht für die körnchenfreie Grundsubstanz des Protoplasmas. — Vgl. Strasburger, Studien über Protoplasma p. 24.

4) Ich bemerke hier nochmals ausdrücklich, dass es für die osmotischen Vorgänge und Leistungen gleichgültig ist, ob das Protoplasma von einer wirklichen Membran oder von einer peripherischen Schicht anderer Cohäsion umkleidet ist.

Digitized by Google

ähnliche diosmotische Eigenschaften wie gewissen künstlichen Niederschlagsmembranen zukommen. Nach diesen fundamentalen Vorarbeiten wird es nun die Aufgabe künftiger Forschungen sein, die osmotischen Vorgänge im Organismus zu verfolgen, um die davon abhängigen Erscheinungen auf die causalen Bedingungen zurückzuführen. Zahlreiche und oft recht schwierige Fragen sind hier zu lösen, welche die wichtigsten Probleme der Physiologie berühren, da ja Osmose bei Ernährung, Wachsthum und noch anderen Vorgängen eine hervorragende Rolle spielt.

Die Aufgabe der folgenden Abschnitte ist es nun weit weniger neue empirische Untersuchungen zu bringen, sondern vielmehr zu zeigen, in wie weit bekannte Thatsachen eine Erklärung zulassen und ferner noch offene Fragen zu beleuchten, um so hoffentlich den Anstoss zu geben, dass auch andere auf einem Gebiete thätig eingreifen, dessen Ausdehnung die Arbeitskraft eines Einzelnen übersteigt.

Zunächst wollen wir den diosmotischen Austausch von Stoffen ins Auge fassen und diesen Betrachtungen eine von Zellhaut umkleidete Zelle zu Grunde legen, in welcher das Protoplasma eine einfache Wandschicht bildet. Ein gelöster Körper kann natürlich nur dann in das Protoplasma gelangen, wenn er durch Zellhaut und die anliegende Plasmamembran zu diosmiren vermag und um in den Zellsaft zu kommen, muss dieser Körper sich im Protoplasma vertheilen und auch die Plasmamembran durchwandern können, welche das Protoplasma gegen den Zellsaft hin begrenzt. Diese Abgrenzung ist immer eine ganz vollständige, gleichviel ob das Protoplasma eine einfache Wandschicht bildet, in Strängen oder Bändern den Zellraum durchsetzt oder ob der Zellsaft in zahlreichen Vacuolen vertheilt ist und es bleibt die Sache deshalb im Princip stets dieselbe, welche Gestaltung der Protoplasmakörper auch besitzt. Die diosmotischen Eigenschaften der mit Wasser imbibirten Zellhaut sind erfahrungsgemäss derart, dass diese sicher alle diejenigen Stoffe durchlässt, welche die Plasmamembran zu durchwandern vermögen und so gilt hinsichtlich der diosmotischen Aufnahme in das Protoplasma für eine mit Zellhaut umkleidete Zelle und für eine Primordialzelle wesentlich dasselbe. Man muss hier übrigens cuticularisirte, verkorkte und überhaupt solche Zellhäute ausschliessen, welche sich mit Wasser kaum oder nur in sehr untergeordneter Weise imbibiren, denn diese werden allerdings Körpern den Durchtritt verwehren können, welche durch die Plasmamembran diosmiren.

Die Beweise, dass die Plasmamembran die diosmotischen Eigen-

Digitized by Google

schaften des Protoplasmas bestimmt, sind früher beigebracht und ebenso sind schon die Gründe angegeben, warum ein gelöster Körper, falls er durch die Plasmamembran diosmirt, sich auch im Protoplasma verbreiten muss, wenn nicht etwa eine chemische Bindung die Verbreitung hemmt. Es folgt solches, wie gezeigt wurde, aus den sichtbaren Bewegungserscheinungen im strömenden Protoplasma, in welchem auch indifferente feste Körper durcheinander geworfen werden und ferner aus dem Umstand, dass der Aggregatzustand des Protoplasmas die diosmotische Ausbreitung von Krystalloiden — und solche allein vermögen die Plasmamembran zu durchwandern — höchstens bis zu einem gewissen Grade verzögern, aber nicht aufheben kann. Diese Erwägungen können durchaus keinen Zweifel lassen, dass gelöste Stoffe, welche durch die Plasmahaut diosmiren, sich auch nothwendig im Protoplasma verbreiten müssen. Gelöste Farbstoffe, welche durch ihre Vertheilung solche Ausbreitung direct demonstriren könnten, sind mir als Bestandtheile des Protoplasmas nicht bekannt. Vielleicht gelingt es aber, was ich zu versuchen versäumte, Körnchen löslicher Farbstoffe in grössere Protoplasmakörper, ohne Beschädigung dieser, zu bringen, indem ja eine erzeugte Verwundung sogleich wieder durch Plasmamembran geschlossen wird. Möglicherweise kann die Art und Weise der Vertheilung des Farbstoffes auch anderweitige Aufschlüsse über Aufbau des lebenden Protoplasmakörpers geben, weil nur ungelöste Proteinstoffe Farbstoffe aufzuspeichern vermögen. Aus dem Factum, dass Körper, welche, wie Ammoniak und Salzsäure, die Plasmamembran durchdringen, sich auch im Protoplasma sogleich verbreiten, ist eine zwingende Schlussfolgerung in der uns vorliegenden Frage nicht abzuleiten, da Verbreitung auch dann stattfinden würde, wenn die diosmotischen Eigenschaften von Plasmamembran und Protoplasma einfach identisch wären.

Vielleicht ist es nicht ganz überflüssig hier nochmals hervorzuheben, dass die todtes und lebendes Protoplasma umschliessende Plasmamembranen, soweit Beobachtungen vorliegen, identische diosmotische Eigenschaften besitzen und dass diese Identität auch zwischen lebensthätigem und leblosem Protoplasma besteht. Denn gleiches diosmotisches Verhalten zeigen lebende Protoplasmakörper, wie auch aus Protoplasmatheilen gebildete Vacuolen in jedem beliebigen Zustand der durch osmotischen Druck bewirkten Ausdehnung und ebenso bleiben die diosmotischen Eigenschaften unverändert, wenn die Lebensthätigkeit in irgend einer Weise, z. B. durch Ausschluss von Sauerstoff sistirt wurde. So weit es sich einfach um Aufnahme oder Nichtaufnahme eines Stoffes

Digitized by Google

in das Protoplasma handelt, kommt nur der specifische Aufbau der Plasmamembran und die Lebensthätigkeit nur insofern in Betracht, als durch sie der physikalische Aufbau der Plasmamembran Modificationen erfahren könnte.

Aus Erwägungen, wie sie oben angestellt wurden, folgt mit aller Strenge, dass das Protoplasma jeden Stoff aufnehmen muss, welcher durch die Plasmamembran diosmirt und dass weiter ein jeder Körper, falls er im Protoplasma nicht durch Bindung zurückgehalten wird, auch in den Zellsaft übergehen muss, wenn die diesen begrenzende Plasmamembran die Diosmose gestattet. Diese Aufnahme (resp. Abgabe) muss so lange andauern, als in der Concentrationsdifferenz innerhalb und ausserhalb der Zelle eine Ursache zu einseitiger diosmotischer Bewegung gegeben ist. Die Grenze der Aufnahme ist hiermit für einen sich indifferent verhaltenden Körper ebensowohl bestimmt, wie für einen Stoff, welcher in der Zelle in unlösliche Form gebracht wird, oder überhaupt geeignete Metamorphosen erfährt, denn für einen solchen Körper muss die Aufnahme so lange fortdauern, als die Erreichung eines osmotischen Gleichgewichtszustandes verhindert wird.

Für obige streng logische Forderungen ist der experimentelle Beweis noch nicht erschöpfend geführt worden. Immerhin kann hervorgehoben werden, dass erfahrungsgemäss eine Anzahl unorganischer Stoffe, welche die Pflanze nicht bedarf, in diese aufgenommen werden und für die keine unlöslichen Salze bildenden Alkalien, wie Caesium, Rubidium und Lithium kann man mit Gewissheit annehmen, dass sie sich auch innerhalb der Zelle und nicht nur in der Zellhaut finden. Auch ist für gewisse Stoffe, welche durch die Plasmamembran diosmiren, ihre Verbreitung innerhalb der Zelle erwiesen, so für Salzsäure und für Ammoniak und wie für letzteres, ist auch die Aufnahme des für die Pflanze entbehrlichen Lithiumcarbonates durch Bläuung rother Zellsäfte zu constatiren. Freilich sind dieses, wie auch Sublimat und Jod, keine indifferenten Stoffe, doch vernichten sehr verdünnte Lösungen der Alkalien das Leben nicht, indem Protoplasmaströmung erst gewisse Zeit nach der Aufnahme dieser Stoffe stille steht und mit deren diosmotischen Entfernung auch baldigst wiederkehrt.

Abgesehen von Farbstoffen und den Körpern, welche ihren Eintritt durch Reaction im gefärbten Zellsaft kenntlich machen, ist über die diosmotischen Eigenschaften der Plasmamembran sehr wenig bekannt und um den Uebertritt kleiner Mengen anderer Stoffe direct feststellen zu können, reichen auch bisher angewandte Methoden nicht aus. Während längerer Zeitdauer wird aber auch eine geringe Diosmose grössere

Digitized by Google

Mengen eines gelösten Körpers in eine Zelle schaffen können und dieses um so mehr, als die Fläche der Plasmamembran gegenüber dem geringen Volumen der Zelle verhältnissmässig gross ist. Die ganze Fläche der Plasmamembran, soweit diese von der die Zellhaut imbibirenden Lösung umspült wird, kommt aber für diosmotische Aufnahme in lebende Zellen in Betracht. Die Aufnahme anorganischer und organischer Körper in die Zelle ist ja gewiss, aus der Art des Vorkommens ist aber natürlich nicht zu entnehmen, in welcher Form die Körper diosmirten.

Um die Durchlässigkeit des Protoplasmakörpers in den Zellen der rothen Rübe gegenüber gewissen Salzen zu prüfen, contrahirte de Vries[1]) mit Salzlösungen geeigneter Concentration und beobachtete, ob der Contractionszustand des Protoplasmakörpers unverändert blieb. Positiven Falles wird entweder gar kein diosmotischer Austausch stattgefunden haben oder dieser musste zwischen Salzlösungen und Inhaltsstoffen der Zelle derart geregelt sein, dass die osmotische Wirkung beiderseits unverändert blieb. Denn in jedem anderen Falle müsste sich natürlich der Contractionszustand des Protoplasmas ändern und eine Volumenzunahme dieses würde immer eine Aufnahme von Salz in die Zelle anzeigen. Bei erheblicher Aufnahme des Salzes würde der Protoplasmakörper sich endlich wieder der Zellwand anlegen, was indess bei Anwendung verschiedener Salze des Magnesiums, Kaliums und Natriums de Vries nicht eintreten sah. Da der Zellinhalt lebender Zellen rother Rüben an Wasser, wenn überhaupt, nur geringe Mengen seiner Inhaltsstoffe abgibt, so ist soviel nach den Beobachtungen des genannten Forschers gewiss, dass höchstens geringe Mengen der angewandten Salze diosmotisch in die Zellen drangen. Um hierüber zu entscheiden, müssten sehr genaue Messungen angestellt werden, welche de Vries nicht ausführte und die auch thatsächlich verschiedener Schwierigkeiten halber nicht im Stande sein dürften eine sehr geringe Aufnahme eines Stoffes in die Zelle zu ermitteln. Die im Princip durchaus richtige Methode ist natürlich bei genügendem diosmotischen Austausch brauchbar und wenn zur Contraction Lösungen colloidaler Körper angewandt werden, welche die Plasmamembran sicher nicht durchdringen, so könnte auch entschieden werden, ob der Protoplasmakörper Inhaltsstoffe diosmotisch nach aussen abgibt.

Um genau zu prüfen, ob thatsächlich aus rother Rübe gar kein Zucker diosmirt[2]), wurde aus dem Innern einer zuckerreichen rothen

1) Sur la perméabilité du protoplasma des betteraves rouges. Separatabdruck aus Archives Néerlandaises 1871, Bd. VI.

2) Vgl. Hofmeister, Pflanzenzelle p. 4.

Digitized by Google

Rübe ein cylindrisches, etwa 10 Qu.-Ctm. Oberfläche bietendes Stück herausgeschnitten. Nachdem dieses im Laufe einer Stunde durch wiederholte Erneuerung des umgebenden Wassers sorgfältigst abgewaschen war, blieb dieses Stück während 6 Stunden in 100 Cub.-Ctm. Wasser liegen, welche nach dem Eindampfen auf 4 Cub.-Ctm. und Aufkochen mit etwas Salzsäure mit Fehling'scher Lösung keine Spur von Zuckerreaction ergaben. Sicherlich kann also Zucker in der Form, wie er in der Zelle enthalten ist[1]), durch die Plasmamembran höchstens in äusserst geringer Menge diosmiren.

Mit einem solchen negativen Resultate, wie es für Zucker erhalten wurde, ist die Tödtung von Zellen während der Versuchsdauer ausgeschlossen und mit richtiger Würdigung der Thatsachen und der Genauigkeit analytischer Methoden, kann eine solche Controle dazu dienen, um eine beobachtete diosmotische Ausgabe eines Stoffes über die Zweifel zu erheben, welche, der möglichen Verletzung von Zellen halber, einem solchen positiven Resultate ausserdem nothwendig ankleben müssen. Indem ein Object zunächst in die Lösung eines Stoffes und nach dem Abwaschen in reines Wasser gebracht wird, kann auf diesem Wege, bei richtiger Leitung der Experimente, wohl auch über Aufnahme oder Nichtaufnahme entschieden und wo die Reactionen es erlauben, auch eventuell eine nur geringe Diosmose festgestellt werden.

Uebrigens sind auch die mikroskopischen Methoden zur Entscheidung über Stoffaufnahme noch keineswegs erschöpft. Solche werden allgemein dann anwendbar sein, wenn ein Körper seinen Eintritt direct durch eine sichtbare Reaction anzeigt oder auch, wenn dessen Vorhandensein in der lebenden Zelle durch nachherigen Zutritt eines anderen Körpers ermittelt werden kann. Wenn z. B. sauer reagirender Zellsaft durch Ammoniak alkalisch gemacht wird, was ohne Vernichtung des Lebens möglich ist, so muss sich nothwendig ein Niederschlag bilden, falls Körper vorhanden sind, welche in saurer, nicht aber in ammoniakalischer Flüssigkeit löslich sind. Doch genug mit diesem Hinweis, da ich allein das Princip von Methoden andeuten wollte, die, falls sie ausführbar sind, bei geschickter Combination und richtiger Auswahl der Objecte, auch über Vertheilung gelöster Stoffe innerhalb der Zelle, sowie über chemische Constitution des Protoplasmas und Zellsaftes gewisse Aufschlüsse geben dürften.

1) Vgl. Pfeffer, Wanderung organischer Baustoffe in: Landwirthschaftliche Jahrbücher, 1876, Bd. V, p. 125. — Uebrigens diosmirt Zucker auch durch Ferrocyankupfermembran nur in sehr geringer Menge. Siehe diese Abhandlung p. 48.

Digitized by Google

Die diosmotischen Eigenschaften sind natürlich von dem jeweiligen Zustand der Plasmamembran abhängig und es kann nicht a priori behauptet werden, dass dieser immer derselbe ist. Schon bei früherer Gelegenheit (p. 149) habe ich darauf hingewiesen, wie möglicherweise die Berührung mit verschieden zusammengesetzten Medien durch Quellung[1] oder Schrumpfung, oder wie Infiltrationen modificirend eingreifen konnten. Ueber diese Fragen, welche für Stoffaufnahme und Stoffwanderung in concreten Fällen vielleicht von Bedeutung sind, ist ebensowenig etwas bekannt, wie über den Einfluss der Temperatur auf die diosmotischen Eigenschaften der Membran. Ebenso muss es unentschieden bleiben, ob Plasmamembranen verschiedener Zellen immer identische Eigenschaften besitzen und ob Innen- und Aussenseite an derselben Membran gleichwerthig sind[2].

Die Dicke der Plasmamembran, welche nicht in allen Fällen eine gleiche sein mag, wird zwar nicht in qualitativer, wohl aber in quantitativer Hinsicht auf den diosmotischen Austausch Einfluss haben und hierdurch für Aufnahme und Wanderung von Stoffen unter Umständen in Betracht kommen können. Direct ohne Bedeutung für den diosmotischen Austausch wird aber ein stationärer osmotischer Druck in der Zelle sein, während Schwankungen dieses, falls sie Aufnahme und Abgabe von Wasser mit sich bringen, vermöge dieser Wasserströmung etwas fördernd oder hemmend eingreifen können[3].

Natürlich sind für Stoffaufnahme und alle damit zusammenhängenden Fragen nicht nur die diosmotischen Eigenschaften der Membran, sondern auch die Eigenschaften der in Lösung befindlichen Stoffe von Bedeutung und chemische Metamorphosen dieser Körper, wie sie auch immer zu Stande kommen, werden die Diosmose einleiten, aufheben oder modificiren können.

Die Eigenschaften der Plasmamembran, Wunden sogleich wieder zu schliessen, machen Aufnahme fester Körper in die lebende Zelle möglich, wie solches ja auch an den Plasmodien von Myxomyceten und

---

1) Bei gleichzeitiger Behandlung mit etwas Ammoniak und Anilinblau oder Lakmus drangen diese Farbstoffe, so wenig wie sonst, in die aus Protoplasma von Vaucheria oder Hydrocharis gebildeten Vacuolen.

2) Vgl. p. 46. Es könnten auch (ventilartige) Vorrichtungen bewirken, dass durch Druck Flüssigkeit in einer Richtung, nicht aber in entgegengesetzter Richtung durch eine Membran getrieben wird. Etwas derartiges soll nach Meckel (citirt in Ranke's Physiologie des Menschen 1872, p. 122) für die Poren im Schalenhäutchen der Eier zutreffen, indem Flüssigkeit leicht von Schalenseite zur Eiweissseite, nicht aber umgekehrt filtrire.

3) Vgl. den vorhin citirten Aufsatz in den Landwirthschaftl. Jahrbüchern p. 121.

Digitized by Google

an anderen Objecten beobachtet wurde [1]). Auch innerhalb der Zelle dürfte analoges vorkommen, wenigstens scheinen nach Beobachtungen z. B. Krystalle und Stärkekörner aus dem Protoplasma in den Zellsaft und umgekehrt befördert zu werden, doch ist noch zu ermitteln, ob solche Vorgänge eine beachtenswerthe Rolle bei der Stoffbewegung innerhalb der Zelle spielen. In dem Protoplasmakörper, welcher mit Zellhaut umkleidet ist, können durch diese natürlich feste Körper nicht gelangen, doch wäre es denkbar, wenn es auch unwahrscheinlich erscheint, dass ein in Lösung die Zellhaut durchdringender Körper, zwischen dieser und der Plasmamembran in unlösliche Form überginge und in solcher von dem Protoplasma aufgenommen würde.

Im Vorausgehenden wurden die wichtigsten Gesichtspunkte entwickelt, welche für Aufnahme und Ausgabe von Stoffen in Pflanzenzellen in Betracht kommen werden. Diosmotische Bewegung, welche Erreichung eines Gleichgewichtszustandes anstrebt und Störung dieses Gleichgewichtes durch Metamorphosen [2]) der diosmirenden Körper, endlich specifische diosmotische Eigenschaften von Zellhaut und Plasmamembran sind im Princip Motoren und Regulatoren der Bewegung und Ansammlung von Stoffen innerhalb der Pflanze. Die Gesammtheit aller bekannten physiologischen Thatsachen bietet keine Beobachtung, welche mit diesen Principien nicht in Einklang zu bringen wäre und das schon längst erkannte Gesetz [3]), dass Verbrauch und chemische Metamorphosen die Ursachen der Stoffbewegung sind, ist ja in obigem Ausspruch eingeschlossen.

Im Speciellen können freilich die bezüglich Stoffwanderung und Stoffansammlung vorliegenden Thatsachen sehr gewöhnlich nur partiell oder auch noch gar nicht auf causale Bedingungen zurückgeführt werden, doch sind bis dahin präcis genug gestellte Fragen der Ausgangspunkt von Untersuchungen in dieser Richtung noch nicht gewesen und wesentliche Momente, wie sie durch Aufbau und specifische Eigenschaften der Pflanzenzelle gegeben sind, wurden noch nicht genügend in Rechnung gezogen. In wie weit concrete Fälle eine bestimmte Erklärung zulassen, will ich hier nicht erwägen und verweise ich in dieser Hinsicht auf einige Skizzen in einem anderen Aufsatze [4]). Nur

---

1) Vgl. Hofmeister, Pflanzenzelle 1867, p. 77.

2) Ich nehme dieses Wort hier im weitesten Sinne und verstehe z. B. auch Fällung durch Entziehung des Lösungsmediums u. s. w. darunter.

3) Siehe Sachs, Experimentalphysiologie 1865, p. 388.

4) Pfeffer, Wanderung organischer Baustoffe in »Landwirthschaftliche Jahrbücher« 1876, Bd. V, p. 111 ff.

Digitized by Google

einige ganz allgemein gehaltene Grundzüge glaube ich hier mittheilen zu sollen.

Alle gelösten Körper, welche durch die Plasmamembran diosmiren, dringen auch durch eine für Wasser imbibitionsfähige Zellwand, aber das umgekehrte trifft nicht in allen Fällen zu. In dem Zellhautgerüste wird sich also ein Körper verbreiten und so in alle Theile einer Pflanze gelangen können, ohne jemals in das Innere einer Zelle zu dringen oder, falls nur in einzelnen Zellen die Plasmamembran dem fraglichen Körper den Durchtritt gestattet, wird dieser auch nur in diese einzelnen Zellen aufgenommen werden. Wie sich nun ein Körper in der Zelle oder auch an beliebigem anderen Orte anhäufen kann, wenn die durch Diffusion und Diosmose angestrebte gleichmässige Vertheilung gehindert wird, mag ein Beispiel versinnlichen, welches ich schon bei anderer Gelegenheit zu demselben Zwecke benutzte.

Man bringe ein Zinkblech in eine etwa aus Pergamentpapier gebildete Zelle und tauche diese dann in eine Kupfervitriollösung, so wird endlich alles Kupfer in der Zelle in metallischer Form enthalten sein und dieses natürlich auch dann, wenn gleichzeitig andere mit Kupferlösung gefüllte, aber Zink nicht enthaltende Zellen in dasselbe Gefäss gestellt wurden. Während Kupfer sich ausscheidet entsteht Zinksulfat, welches durch Diffusion und Diosmose endlich in Aussenflüssigkeit und den anderen eintauchenden Zellen gleichmässig vertheilt sein muss. So zeigt dieses Beispiel zugleich, wie ein chemischer Process zur Zurückhaltung nur eines Theiles der diosmirenden Verbindung führen kann [1]) und es ist klar, dass auch dann die chemische Umwandlung eine totale werden muss, wenn innerhalb einer Zelle durch chemische Metamorphose nur solche lösliche Producte entstehen, welche auf diosmotischem Wege die Zelle wieder verlassen können. Vorgänge, wie sie soeben im Princip angedeutet wurden, spielen sich auch, das kann aus bestimmten Thatsachen abgeleitet werden, im pflanzlichen Organismus ab und zwar in viel complicirterer Weise, als in dem obigen einfachen Beispiele. Sollen aber Stoffwanderung und die damit zusammenhängenden Erscheinungen causal erklärt werden, so muss die Gesammtheit der Vorgänge innerhalb und ausserhalb der Zellen ins Auge gefasst werden und nicht minder ist das Zusammenwirken verschiedener Zellen zu beachten, ja vielleicht kann in derselben Zelle ein endliches Resultat nur durch Zusammenarbeiten von Zellsaft und Protoplasma erzielt werden. Hier

1) Natürlich wird auch innerhalb der Wandung oder an beliebiger Stelle eine solche Anhäufung irgend eines Körpers möglich sein.

Digitized by Google

bietet sich ein grosses und mannigfaltiges Gebiet schwieriger, aber auch höchst wichtiger Fragen dar, deren Beantwortung erst durch zukünftige Forschungen möglich sein wird.

Bei allen in der Pflanzenzelle sich abwickelnden Vorgängen ist wohl zu beachten, dass sie unter besonderen Bedingungen verlaufen, welche eventuell auf das Resultat von wesentlichem Einfluss sein können. Ich beschränke mich hier darauf im allgemeinen zu zeigen, wie speciell Diosmose für chemische Processe bedeutungsvoll werden kann, ohne auch diesen Punkt nach allen Seiten zu beleuchten. Schon vor 73 Jahren (1803) sprach Berthollet in seinem classischen »Versuch einer chemischen Statik« die Ansicht aus, dass eine zunächst nur partiell eintretende Reaction bei Entziehung eines der Producte zu einer totalen Zersetzung führe. Eine solche Entziehung wird nun in manchen Fällen durch Diosmose möglich sein und dann wird mit Hülfe dieser eine sonst nur partielle Umsetzung eine vollkommene Zerlegung bewirken können. So zerlegt, um an einen concreten Fall anzuknüpfen, nach Emmerling[1]) Oxalsäure in wässriger Lösung eine kleine Menge Salpeter und setzen wir nun den Fall, dass allein die Salpetersäure die Membran passire, so wird schliesslich nur Kaliumoxalat in der Zelle vorhanden sein, wenn die Menge der Oxalsäure ausreichend ist und die Salpetersäure ausserhalb der Zelle in eine relativ unendlich grosse Menge Wasser diffundirt oder auf irgend eine Weise entfernt wird.

Es ist nun aber wahrscheinlich, dass ganz allgemein in Folge der Concurrenz der Molecüle — um mich Pfaundler's[2]) Ausdrucksweise zu bedienen — eine stärkere Säure partiell durch eine schwächere, wenn eventuell auch nur in minimaler Menge, aus einem Salze ausgetrieben wird und es bedarf keiner besonderen Illustration, um einzusehen, wie bedeutungsvoll ein solcher Vorgang innerhalb und mit Hülfe

---

1) Berichte d. chem. Gesellschaft 1872, p. 780 u. Emmerling's Habilitationsschrift, Kiel 1874. — Emmerling bestimmte die partielle Austreibung der Salpetersäure durch eine auf Diffusion gegründete Methode, andere Forscher wandten zu analogem Zwecke Ausschüttelmethoden an. Durch solche Methoden, welche eine Trennung der gelösten Körper herbeiführen, kann natürlich nicht entschieden werden, wie viel Säure beim einfachen Vermischen der Lösungen ausgetrieben wird. Um einfach die Existenz solcher Austreibung festzustellen, würden in gegebenen Fällen diosmotische Methoden sicher mit Erfolg angewandt werden können.

2) Der Kampf ums Dasein unter den Molecülen. Poggendorff's Annalen, Jubelband, 1874, 182.

Digitized by Google

der Pflanzenzelle werden könnte. Es sei hier daran erinnert, dass gewisse Säuren, wie Salzsäure und Essigsäure relativ leicht durch die Plasmamembran diosmiren, doch ist zu erwarten, dass andere Säuren und namentlich solche mit hohem Moleculargewicht diese Fähigkeit nicht besitzen. So ist es also auch denkbar, dass freie anorganische Säuren [1]) in der Pflanze vorkommen und wirken und solches kann nicht deshalb als unmöglich erklärt werden, weil Salzsäure lebloses Protoplasma coagulirt, da eben mit und durch die Lebensthätigkeit der Einfluss der Säure eliminirt werden könnte, auch wenn diese in das Protoplasma eintreten sollte.

Auch schon beim einfachen Auflösen in Wasser tritt partielles oder sogar totales Zerfallen mancher Verbindungen ein und es ist wahrscheinlich, dass die meisten Salze, wenn auch manche wohl nur in verschwindender Menge, dissociirt in wässriger Lösung enthalten sind [2]). Ich habe auch schon in dieser Abhandlung (p. 93) erläutert, wie das relativ stark dissociirende Eisenchlorid in geeigneter Niederschlagsmembran durch Entfernung von Salzsäure endlich in colloidales salzsäurehaltiges Ferrihydroxyd verwandelt werden dürfte. In anderen Fällen wird freilich, auch wenn nur eines der Dissociationsproducte diosmotisch entfernt wird, die Dissociation eines Salzes nur eine beschränkte sein können, wenn nämlich mit Anhäufung des in der Zelle zurückbleibenden Productes die dissociirten Salzmolecüle sich verringern und endlich zu existiren aufhören. Zu den Körpern, deren Dissociation beim Auflösen so weit geht, dass die Existenz unzerlegter Molecüle in der wässrigen Lösung sogar fraglich sein kann [3]), gehören die sauren Salze, welche ich ihres Verhaltens gegen Pflanzenzellen halber erwähne. Durch verdünnte Lösungen von Kaliumbioxalat und ebenso von Kaliumbisulfat werden nämlich blaue Zellsäfte lebender Zellen schnell geröthet, woraus aber, da ja freie Säure in der Salz-

---

1) Vielleicht sind Spuren von Lösung, welche ich an Krystallen von Calciumoxalat beobachtete durch kleine Mengen von anorganischen Säuren hervorgebracht. Ob Calciumoxalat auch in grösserer Menge in der Pflanze aufgelöst wird, muss erst noch entschieden werden. Vgl. Pfeffer, Proteinkörner u. s. w. in Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. VIII, p. 528. — Freie Salzsäure kommt übrigens im Magensaft der Thiere vor, wo deren Entstehung übrigens meines Wissens noch nicht genügend aufgeklärt ist.

2) Vgl. z. B. Naumann, Allgemeine Chemie (Gmelin-Kraut's Handbuch) 1876, p. 544 ff.

3) Berthelot et St. Martin in Annal. d. chim. et d. physique 1872, IV. ser., Bd. 26, p. 456.

Digitized by Google

lösung besteht, nicht auf diosmotische Aufnahme von Kali geschlossen werden kann [1]).

Alle äusseren Einflüsse, welche chemische Metamorphosen beschleunigen oder gar erst hervorrufen, können natürlich auch für Stoffwanderung und überhaupt für diosmotische Vorgänge bedeutungsvoll werden und die Wirkung von Wärme und Licht auf Stoffwanderung ist ja zur Genüge bekannt. Indem diese Imponderabilien den Bewegungszustand der Molecüle und der Bestandtheile dieser erhöhen, werden sie zunächst auf ein Zerfallen zusammengesetzterer Molecüle hinarbeiten und unter Mitwirkung der Diosmose wird natürlich Ausgiebigkeit und Erfolg einer solchen Dissociation in besonderer Weise verlaufen können. Ohnedies kann eine solche Dissociation schon zu weitgehenden Reactionen Veranlassung werden. So ist, wie schon erwähnt wurde (p. 94), die im Licht unter Explosion stattfindende Vereinigung von Chlor und Wasserstoff eine Folge der durch Licht bewirkten Zerspaltung einer Anzahl Chlormolecüle und die Entwicklung von Kohlensäure aus einem Gemenge von Eisenchlorid und Oxalsäure kommt unter Bildung von Eisenchlorür zu Stande, indem abgespaltene Chloratome sich mit Wasserstoff verbinden, während der Sauerstoff des zersetzten Wassermolecüls die Oxalsäure oxydirt [2]). Diese Beispiele sollten nur

---

1) Die verhältnissmässig leichte Diosmose vieler Säuren und Alkalien ist beachtenswerth, wenn es sich um Aufklärung der Ursache für rothe, resp. blaue Färbung im Zellsaft handelt.

2) A. Mayer hat in jüngster Zeit behauptet, grüne Pflanzen könnten im Sonnenlichte auch aus anderem Material als aus Kohlensäure Sauerstoff abspalten (Landwirth. Versuchsstationen Bd. XVIII, 1875, p. 438). Unmöglich ist nun freilich etwas derartiges nicht, indess ist eine andere Deutung der Thatsachen, auf welche Mayer seine Behauptung stützt, nicht nur näher liegend, sondern hat auch in diesem Falle eine weit grössere Wahrscheinlichkeit für sich. Es könnte nämlich der Sauerstoff doch auch von Kohlensäure abstammen, welche nicht als solche im Gewebe vorhanden war, sondern durch Zerspaltung irgend eines Körpers am Sonnenlicht gebildet und gleich nach Entstehung im Chlorophyllapparat verarbeitet wurde. Dass eine solche Sauerstoffbildung auch mit gleichzeitiger Entsäuerung, welche Mayer beobachtete, verträglich ist, geht aus der im Text erwähnten, vom Licht abhängigen Oxydation der Oxalsäure zu Kohlensäure hervor. (Vgl. Becquerel, La lumière 1868, Bd. II, p. 60 und Ar. Müller, Einwirkung des Lichtes auf Wasser 1874, p. 25. Letztere Schrift erwähne ich, weil sie auch die Literatur über Einwirkung des Lichtes auf andere Säuren angibt.) Ich wollte hier nur zeigen, wie die thatsächlichen Beobachtungen Mayer's nicht zu den von ihm gezogenen Schlussfolgerungen berechtigen und unbedingt nicht eher berechtigen können, bis zweifellos erwiesen ist, dass im Untersuchungsobjecte keine Kohlensäure durch Sonnenlicht producirt wird. Ein solches negatives Verhalten kann, wie ich wohl nicht ausdrücklich darlegen muss, auf Grund der mit anderen Pflanzen angestellten Beobachtungen jedenfalls nicht behauptet werden und ebensowenig

Digitized by Google

demonstriren, wie auf irgend eine Weise bewirkte Dissociation, selbst wenn sie an sich nur wenig ausgiebig ist, doch weitgehende und verwickelte Zersetzungen herbeizuführen vermag, welche unter den in

---

wird man sich darauf berufen dürfen, dass Blätter von Oxalis kein Sauerstoffgas am Lichte bilden, obgleich sie reich an Oxalsäure sind. Ueberhaupt würde ja in physiologischer Hinsicht erst in zweiter Linie in Betracht kommen, aus welchem Materiale die Kohlensäure abstammt und unter welchen Bedingungen die Zerspaltung des fraglichen Stoffes durch Sonnenlicht möglich ist. Man vergesse auch nicht, dass Kohlensäurebildung durch Zerspaltung organischer Körper bei der inneren Athmung thatsächlich stattfindet und vermehrt oder auch erst eingeleitet werden könnte, wenn durch Lichtstrahlen die intramoleculare Bewegung eines Stoffes vergrössert wird. — Uebrigens ist auch schon einmal von Schultze (Compt. rend. 1844, Bd. 19, p. 524) behauptet worden, dass Pflanzen aus verschiedenen organischen Säuren Sauerstoff produciren könnten, allerdings jedenfalls auf Grund sehr mangelhafter Versuche, wie Boussingault (ebenda p. 945) leicht darthun konnte.

Anschliessend an die Bedeutung von Dissociationsvorgängen sei mir erlaubt, einige Worte hinsichtlich der Production organischer Substanz im Chlorophyllapparat zu sagen. Reifliche Erwägungen, welche ich hier nicht darlegen will, machen es mir wahrscheinlich, dass die Sauerstoffentwicklung bei Assimilation die Folge eines durch Licht bewirkten Dissociationsvorganges ist und dass der so entstandene reducirte Körper unter Oxydation die Bildung organischer Substanz aus Kohlensäure und Wasser vermittelt. Es scheint mir wahrscheinlich, dass das Chlorophyll selbst, oder wenigstens ein damit in Zusammenhang stehender Körper, der dissociirt werdende Stoff ist, welcher sogleich wieder Sauerstoff aus Kohlensäure und Wasser an sich reisst und durch die Continuität dieses, vielleicht sehr verwickelten Vorganges für Production organischer Substanz eine analoge Rolle spielt, wie die Schwefelsäure bei Production von Aether aus Alkohol. Die Zerstörung von Chlorophyll bei intensiver Beleuchtung wird so gleichfalls verständlich und wenn diese Zersetzung nicht eine totale wird, so findet dieses seine Analogie darin, dass viele Dissociationsvorgänge nur bis zu einem gewissen Grade fortgeführt werden.

Die auch jüngst wieder von Sachsse (Chem. Centralblatt 1876, p. 550) ausgesprochene Ansicht, das Chlorophyll selbst sei Product der Assimilation und aus der Substanz dieses gingen durch weitere Veränderung und Reduction Kohlehydrate hervor, ist mit gewissen physiologischen Thatsachen unvereinbar. Uebrigens ist mit dieser Auffassung in keiner Weise erklärt, wie Licht in chemische Spannkraft umgesetzt wird und gerade hierin liegt ein wesentliches Moment des Assimilationsvorganges, das eventuell auch bei der derzeitigen unvollkommenen chemischen Kenntniss der in Betracht kommenden Körper aufgeklärt werden kann. Man muss hier wohl beachten, dass nach unserer Auffassung nur ein Process, die Dissociation, durch das Licht nothwendig bewirkt wird und solche Dissociation unter Sauerstoffabspaltung kommt auch zu Stande, indem z. B. Licht Quecksilberoxyd durch Abspaltung von Sauerstoff partiell zersetzen kann (Becquerel, La lumière II, p. 69). Mit Hülfe des so reducirten Körpers (Hg^2O?) würden aber wohl organische Verbindungen, so gut wie mit Hülfe anderer oxydabler Körper, aus anorganischen Kohlenstoffverbindungen und Wasser darstellbar sein. So können wir wenigstens das Princip des Assimilationsprocesses durch bekannte chemische Vorgänge uns versinnlichen.

Digitized by Google

der Pflanze gegebenen Bedingungen noch weit complicirter ausfallen mögen. Nicht nur sind in der Pflanze ihrer Structur nach complicirte und, wie die Erfahrung lehrt, leicht veränderliche Molecüle organischer Verbindungen vorhanden, sondern es treten noch besondere Verhältnisse hinzu, unter welchen die specifischen diosmotischen Eigenschaften wohl auch eine wichtige Rolle spielen dürften. Unter Mithülfe der Diosmose ist nicht nur eine ausgiebige Zersetzung durch eine an sich unbedeutende Dissociation möglich, sondern es ist auch die Möglichkeit gegeben, dass ein Dissociationsproduct vielleicht erst in einer anderen Zelle zur Wirkung kommt und diese Wirkung kann, auch wenn die Quantität des wirkenden Körpers nur sehr gering ist, doch eventuell eine sehr ausgedehnte sein, wie z. B. gewisse Fermente zeigen, welche eine unverhältnissmässig grosse Menge eines Körpers chemisch umwandeln können (vgl. p. 94).

Ob und in wie weit der in Pflanzenzellen unter Umständen hohe hydrostatische Druck die Ausgiebigkeit eines Dissociationsvorganges beeinflusst, ist nicht bestimmt vorauszusagen und entscheidende Versuche, welche eine Beurtheilung gestatten könnten, liegen nicht vor. Gestützt auf die von der Theorie geforderte und durch das Experiment bestätigte Beziehung zwischen Schmelztemperatur und Druck [1]), dürfte man wohl erwarten, dass im allgemeinen die dissociirte Menge mit wachsendem Drucke abnehmen wird, wenn die Dissociationsproducte ein grösseres Volumen einnehmen als der unzersetzte Körper, während im umgekehrten Falle die dissociirte Körpermenge mit dem Drucke sich vermehren würde. Abgesehen von gewissen Bedenken, könnten die Zersetzungen bei Dissociation mit anderweitigen molecularen Umlagerungen verbunden sein, welche ein anderes, als das sonst zu erwartende Resultat herbeiführen. Uebrigens ist wohl anzunehmen, dass der, gegenüber den Molecularkräften ja immer nur geringe Druck von einigen Atmosphären, für die Dissociationsvorgänge nicht gerade von sehr grosser Bedeutung sein dürfte [2]).

---

1) Siehe Clausius, Die mechanische Wärmetheorie 1876, Bd. I, p. 172.

2) Auch über den Einfluss eines hydrostatischen Druckes auf die Löslichkeit fester Körper ist noch nichts bekannt und der hier in Betracht kommenden complicirten molecularen Wirkungen halber, ist auch nicht wohl das zu erwartende Resultat vorauszusagen. Die Absorption eines Gases wird hingegen nach Henry-Dalton'schem Gesetz zu beurtheilen sein, falls das Gas in der Zelle producirt wird. Nur in diesem Falle ist eine grössere Anhäufung gelösten Gases zu erwarten und der diosmotische Austausch mit der an dem Protoplasmakörper stossenden gasärmeren Aussenflüssigkeit wird fortwährend dahin zielen, die im Zellinhalt

Digitized by Google

21. Druckverhältnisse in der Zelle.

Die osmotischen Leistungen der Zellinhaltsstoffe werden, wie schon gezeigt wurde, durch die Plasmamembran, nicht durch die Zellhaut bestimmt. Dieses folgt ja mit Nothwendigkeit aus der Ueberlegung, dass die nicht diosmirenden Inhaltsstoffe nur mit der Plasmamembran in Contact kommen und die Osmose nur durch auf unmessbare Entfernung wirkende Molecularkräfte hervorgebracht wird. Die Erfahrung zeigt denn auch, wie der Turgor einer Zelle sofort sinkt, wenn durch Tödtung der Zelle die Continuität der Plasmamembran unterbrochen wird, eben weil die Inhaltsstoffe in der Zellhaut nur sehr geringe osmotische Druckhöhe bewirken [1]). Die trotz der stark verdünnten Lösungen in Pflanzenzellen unter Umständen sehr hohen hydrostatischen Druckkräfte waren deshalb auch ganz unverständlich, so lange man, wie es bislang ausnahmslos geschah, die Bedeutung der Plasmamembran übersah und nur die osmotischen Druckversuche im Auge hatte, welche mit Zellhaut oder ähnlich wirkenden Membranen angestellt waren.

Wie in unseren Apparaten die Thonzelle, so ist in der Pflanzenzelle die Zellhaut Widerlage für die Plasmamembran, welche den Protoplasmakörper nach aussen abgrenzt und welche so im Verbande mit der widerstandsfähigen Zellhaut hohe hydrostatische Druckkräfte entwickeln kann. Wo Zellsaft vorhanden, trennt diesen eine Plasmamembran vom Protoplasma, welches auch hier seine osmotische Wirkung geltend macht, der jedoch eine gleiche, aber entgegengesetzte Druckkraft durch osmotische Leistung des Zellsaftes entgegentritt. In rein formeller Hinsicht würde dieses Einschachtlungssystem einer Thonzelle mit aufgelagerter Niederschlagsmembran gleichen, innerhalb welcher eine zweite kleinere Zelle mit anderem Inhalt frei schwebt. Würde dieser höhere osmotische Wirkung hervorbringen, so muss die Niederschlagsmembran — Bedingungen zur Membranbildung vorausgesetzt — so lange in die Fläche wachsen, bis durch Verdünnung ihres Inhaltes und gleichzeitige Concentrirung der sie umgebenden Flüssigkeit innerhalb und ausserhalb der frei schwebenden Zelle ein gleicher osmo-

---

gelöste Gasmenge zu vermindern und den üblichen diosmotischen Gleichgewichtszustand herzustellen. — Auch mit der Verdünnung einer Lösung ändert sich die procentische Menge des im dissociirten Zustande befindlichen Körpers. Das bis dahin bekannte ist von Naumann zusammengestellt. Siehe dessen Allgemeine Chemie 1876, p. 547 ff.

1) Vgl. z. B. Pfeffer, Physiol. Untersuchungen 1873, p. 140.

Digitized by Google

tischer Druckzustand hergestellt ist und ganz dasselbe gilt auch für die Zellsaft und Protoplasma trennende Plasmamembran. Ganz analog verhält es sich aber auch mit anderen Gebilden, die wie z. B. die Gerbsäurekugeln von einer wachsthumsfähigen Niederschlagsmembran umkleidet sind, gleichviel ob solche abgegrenzte Gebilde im Protoplasma oder im Zellsaft liegen.

Was soeben bezüglich des Zellsaftes und anderer durch eine Niederschlagsmembran innerhalb der Zelle abgegrenzter Theile gesagt wurde, ergibt sich aus früheren Erörterungen so bestimmt, dass eine specielle Beweisführung hier nicht mehr nöthig ist. Uebrigens müsste ja auch der Zellsaft durch den Druck, welchen eine elastische gespannte Zellhaut auf den Protoplasmakörper ausübt, durch das für Wasser leicht permeable Protoplasma nothwendig hindurchgepresst werden, wenn dieses nicht durch entsprechenden Gegendruck verhindert würde und ein solcher Druck kann im Zellsaft natürlich nur durch osmotische Wirkung erzeugt werden. Die im Protoplasma gelöst enthaltenen Stoffe müssen natürlich auch einen ihrer Leistung innerhalb der Plasmamembran entsprechenden osmotischen Druck zu Stande bringen, doch muss hier auch in Erwägung gezogen werden, ob und in wie weit der Protoplasmakörper vermöge seiner specifischen Structur und Eigenschaften andere als osmotische Druckkraft zu entwickeln vermag. Solches ist in der That der Fall, doch sind diese Druckkräfte, wie in Folgendem gezeigt werden wird, gegenüber den hydrostatischen Druckkräften nur gering und kommen wohl für Gestaltänderung des Protoplasmakörpers, nicht aber für den unter Umständen sehr hohen Druck in Betracht, welchen der Zellinhalt gegen die Zellhaut ausübt. Im voraus sei hier bemerkt, dass auch die wachsthumsfähige Plasmamembran, selbst wenn sie gekrümmte Flächen von sehr geringem Radius bildet, doch Druckkräften keinen erheblichen Widerstand entgegenzusetzen vermag.

Ein gegen wasserreiches Protoplasma ausgeübter Druck wird, wie der Erfolg zeigt, jedenfalls ziemlich gleichmässig fortgepflanzt und dass in dieser Hinsicht sich Protoplasma annähernd wie ein zähflüssiger Körper verhält, ist wohl nie angezweifelt worden. Einem leichten, mit einem Haar bewirkten Druck geben z. B. Plasmodien von Myxomyceten nach und der sofortige Rückgang auf die zuvorige Gestalt, sobald der Druck aufgehoben wird, zeigt, wie trotz der Pressung die im lebensthätigen Protoplasma wirksamen gestaltenden Kräfte fortdauerten. Das Fortströmen des Protoplasmas von der gepressten Stelle nach Orten geringeren Widerstandes demonstrirt zugleich die hydrostatische Fortpflanzung des Druckes. Analoge Erscheinungen sind aber auch am

Digitized by Google

Protoplasma anderer Pflanzen als Folge einer beliebigen Druckwirkung zu beobachten. Auch das Hinstreben zur Kugelform, welches sich im Protoplasma allgemein geltend macht, zeigt, wie nicht nur ein Druck hydrostatisch fortgepflanzt wird, sondern auch, dass weder das Innere des Protoplasmas, noch seine peripherische Umkleidung einen Widerstand entgegensetzen, welcher dem Cohäsionszustand eines festen Körpers entsprechen würde.

Der Aggregatzustand und die Widerstandsfähigkeit einer wirklichen Gallerte kann dem Protoplasma, wie u. a. die Strömung in Folge eines Druckes zeigt, nicht zukommen, sicher wenigstens nicht seiner ganzen Masse nach. Sollte aber eine relativ consistentere Substanz ein Balkennetz im Protoplasma bilden, so kann dieses Netz, der namhaft gemachten Thatsachen halber, erhebliche Festigkeit jedenfalls nicht besitzen und demgemäss auch nicht durch Quellung oder auf andere Weise Druckkräfte von mehreren Atmosphären entwickeln, wie sie im Protoplasma thatsächlich gefunden werden. Es kommt hier, wie auch im Folgenden, nur das Verhalten des lebenden Protoplasmakörpers in Betracht und es ist für die hierauf zu bauenden Schlussfolgerungen ohne Bedeutung, wenn irgend eine Grundmasse des Protoplasmas für sich zwar festere Consistenz besässe, im lebenden Protoplasma aber, etwa aus analogen Gründen wie die Plasmamembran, jedem Zuge und Drucke nachgeben würde. Aus den gesammten geltend gemachten Thatsachen folgt mit Nothwendigkeit, dass ein irgend erheblicher Druck im Protoplasma nur auf osmotischem Wege zu Stande kommen kann. Feste und quellungsfähige Körper werden eine Rolle mitspielen können, wenn sie nur Wasser imbibiren und so eine Concentration der osmotisch wirksamen Lösung herbeiführen. Auch dann können solche feste Körper für locale Druckwirkungen in Betracht kommen, wenn sie z. B. im wenig mächtigem Wandprotoplasma zwischen die beiden Plasmamembranen eingezwängt sind.

Die obigen Erwägungen sind für die gezogenen Schlussfolgerungen zwingend genug, um hier auf anderweitige Argumentation verzichten zu können. Auch ist mit dem Hinweis auf das Hinstreben zur Kugelform eigentlich schon gesagt, warum nicht der Cohäsionszustand des Protoplasmakörpers, also auch nicht der der Plasmamembran ausreicht, um selbst bei sehr starker Krümmung erheblichen Widerstand leisten zu können, welcher, ceteris paribus, dem Radius umgekehrt proportional ist[1]).

1) Pfeffer, Periodische Bewegungen 1875, p. 114.

Digitized by Google

Die möglichste Annäherung an die Kugelgestalt, welche nicht lebensthätiges Protoplasma ergibt, sowohl wenn es eine continuirliche Masse als auch wenn es eine Mantelschicht um Zellsaft bildet, beweist eben, dass weder Protoplasma, noch Plasmamembran erheblichen Dehnungswiderstand leisten, denn sonst würde eine Gleichgewichtsfigur erreicht sein, ehe für jeden Punkt der Oberfläche die Summe der reciprocen Werthe der Hauptkrümmungsradien dieselbe, d. h. ehe der Körper in diesem Falle eine Kugel wurde [1]). Uebrigens kann unsere Schlussfolgerung bezüglich des Dehnungswiderstandes auch aus Ausdehnung und Zusammenziehung von Protoplasmakörpern bei nur geringem Wechsel in der Concentration des umgebenden Mediums abgeleitet werden und für die Plasmamembran ist ja schon früher gezeigt, wie eine nur geringe dehnende Kraft Flächenwachsthum hervorruft. Der Gedanke, es möchte eine Wandschicht aus Protoplasma, ähnlich wie ein Gewölbe, einem darauf lastenden Druck Widerstand leisten, resp. durch Quellung höheren Druck erzeugen, wird, soweit es sich um anderen als osmotischen Druck handelt, sofort durch obige Erörterungen widerlegt. Uebrigens gibt es auch Objecte, bei denen das Protoplasma von ebenen Flächen begrenzt wird, mit welchen parallel oder gegen welche der Druck elastisch gespannter Zellhaut wirkt.

Geringe Druckwirkungen müssen allerdings im Protoplasmakörper auf andere Weise als durch osmotische Wirkung entstehen, wie aus Gestaltänderungen des Protoplasmas gefolgert werden kann. Mechanische Ursachen für Entstehung irgend einer Hervorragung am Protoplasmakörper kann entweder eine örtlich gesteigerte Druckwirkung oder ein verminderter Widerstand der peripherischen Schicht sein, welcher sowohl durch ungleiche Mächtigkeit oder Qualität, als auch durch local begünstigte Wachsthumsbedingungen der Plasmamembran (resp. des Hyaloplasmas) zu Stande kommen könnte. Die Erfahrungen über das Streben des Protoplasmas kugelige Form anzunehmen, machen es von vornherein höchst unwahrscheinlich, dass, wenigstens an in Wasser liegenden Objecten, ungleiche Widerstandsfähigkeit der peripherischen Schicht Veranlassung zum Hervortreiben von Hügeln oder zu anderen Gestaltsänderungen am Protoplasmakörper werde. Eher möchte vielleicht eine local verschiedene Widerstandsfähigkeit der peripherischen Schicht bei in Luft befindlichen Plasmodien der Myxomyceten in Betracht kommen, aber falls solches zutreffen sollte, die wesentliche Ursache der gestaltlichen Aenderung dieser Objecte liegt nicht in solchem

1) Vgl. z. B. Wüllner, Physik II. Aufl., Bd. I, p. 275.

Digitized by Google

differenten Widerstande. Es ist dieses aus verschiedenen Thatsachen bestimmt abzuleiten, von denen ich hier nur das Fortströmen von bewegungsfähigem Protoplasma aus den consistenteren peripherischen Schichten erwähne, welche dabei entleert zurückbleiben können.

Ich unterlasse es, weitere Thatsachen beizubringen, welche in gleicher Weise zeigen, dass Ausbauchungen u. s. w. durch im Protoplasma entwickelte und local wirkende Druckkraft hervorgetrieben werden. Eine solche Druckkraft muss übrigens nur sehr gering sein, denn sie hat ja wesentlich nur die von der peripherischen Schicht des Protoplasmas ausgehenden Widerstände (Cohäsion, Hinstreben zur Kugelform) zu überwinden; im übrigen aber reicht ein ganz geringer einseitiger Ueberdruck aus, um auch gegen Zellsaft, welcher unter hohem Druck steht, Protuberanzen hervortreiben zu können, indem ja zu beiden Seiten der Plasmamembran fortwährend gleicher osmotischer Druck bestehen bleibt. Solche Druckkräfte dürfen vermöge der Structur des Protoplasmas, etwa durch einseitig geförderte Quellung zu Stande kommen, ohne in Widerspruch mit der früheren Schlussfolgerung zu treten, welche osmotische Entstehung ja nur für etwas erheblichere Druckwirkung fordert. Uebrigens wird auch eine gegen einen Punkt gerichtete Protoplasmaströmung die zu gewisser Ausbauchung an dieser Stelle nöthige Arbeit leisten können.

Protoplasmaströmungen, gleichviel wie sie entstanden sind, müssen natürlich eine gewisse mechanische Wirkung ausüben, welche übrigens in allen Fällen einem nur sehr geringen Drucke gleichkommt, wie uns eine einfache Betrachtung zeigen kann. Nach Toricelli's Theorem ist die Höhe (h) einer Flüssigkeitssäule, welche eine bekannte Ausflussgeschwindigkeit (v) erzeugt $h = \frac{v^2}{2g}$ und durch diese Höhe wird natürlich auch der Druck bestimmt, welcher entstehen würde, wenn die ganze lebendige Kraft eines Flüssigkeitsstromes in mechanische Arbeit verwandelt würde.

Nach der von Hofmeister[1]) gelieferten Zusammenstellung erreicht nun keine Protoplasmaströmung eine Geschwindigkeit von 1 Mm. in der Secunde und wenn wir diesen zu hohen Werth annehmen, ergibt sich $h = \frac{1^2}{2.9809} = 0{,}000051$ Mm., d. h. mit der angenommenen Geschwindigkeit strömendes Protoplasma würde im höchsten Falle einen

1) Pflanzenzelle 1867. p. 48. Die grösste Schnelligkeit ergab Didymium Serpula mit 10 Mm. in der Minute; die Bewegungen in den Staubfadenhaaren von Tradescantia erreichen nicht einmal 1 Mm. pro Minute.

Digitized by Google

Druck hervorbringen können gleich dem Drucke einer 0,00005 Mm. hohen Flüssigkeitssäule aus Protoplasma, welcher ein ungemein geringer ist, selbst wenn das specifische Gewicht des Protoplasmas wesentlich höher, als das des Wassers sein sollte. Thatsächlich fällt die durch Strömung mögliche Druckwirkung immer noch weit geringer aus und so hat es denn auch keinen Werth durch Rechnung zu zeigen, welchen Druck z. B. eine rotirende Protoplasmaströmung von bekannter Schnelligkeit und bekannter Krümmung der Bahn gegen die Zellwand ausübt. Bemerkenswerth ist aber, dass selbst der durch verhältnissmässig langsame Strömung hervorgebrachte Druck im Stande ist, erhebliche Aussackungen am Protoplasma zu erzeugen, wie nicht selten da zu beobachten ist, wo eine Stauung, z. B. durch sehr starke Krümmung der Strombahn, veranlasst wird. Es zeigt dieses evident, wie eine ungemein geringe Druckkraft zur Formänderung eines Protoplasmakörpers ausreicht.

Gleichviel ob nun das Protoplasma eine einfache Wandschicht bildet, in Strängen und Bändern den Zellraum durchsetzt oder sonst irgend eine Form besitzt, das Princip der Gleichheit von Wirkung und Gegenwirkung muss nothwendig immer gewahrt sein und welcher Art auch bewegende Kräfte und Widerstände sind, für den statischen Zustand muss die Resultante der nach den drei Raumdimensionen genommenen Componenten für jeden Punkt der Oberfläche Null als Summe ergeben. Meine Absicht ist es nicht zu beleuchten, in wie weit sich die Mechanik von Gestaltungsvorgängen im Protoplasmakörper nach diesem Princip erläutern lassen und ebensowenig liegt es in meinem Plane, die gestaltenden Kräfte selbst und die Ursachen von Protoplasmaströmungen einer Discussion zu unterziehen, welche bei der heutigen Sachlage doch zu keinem befriedigenden Resultate führen könnte.

Die Discussion über mechanischen Widerstand und mechanische Leistungen des Protoplasmas wurde absichtlich, so weit als möglich, ohne bestimmte Vorstellung über die Structur geführt. Was den Aggregatzustand anbelangt, so kann dieser, wie auch andere Autoren schon folgerten, sicher nicht der einer Flüssigkeit sein, welche einen Druck vollkommen hydrostatisch fortpflanzt. Andererseits bedarf es aber nur einer in geringem Grade von einer Flüssigkeit abweichenden Cohäsion, um auf einen Punkt einen so geringen Ueberdruck ausüben zu können, wie er nöthig ist, um gestaltliche Aenderungen des Protoplasmas zu Stande zu bringen; der Aggregatzustand eines nur ein wenig gelatinösen

Digitized by Google

Körpers würde in dieser Hinsicht Genüge leisten können[1]). Mit solchem Aggregatzustand ist sowohl die Senkung specifisch schwerer Körper verträglich[2]), wie auch die Suspension im specifischen Gewichte nicht zu sehr abweichender Körper. Letztere hält übrigens auch schon in zähflüssigem Schleim sehr lange an und kann dann dauernd werden, wenn Bewegungsvorgänge, wie sie im Protoplasma thätig sind, immer von neuem Vertheilung bewirken.

Ob nun der Protoplasmakörper, abgesehen von der peripherischen Umkleidung, eine wesentlich homogene Masse darstellt oder immer von einem Balkennetze einer Grundmasse durchzogen ist[3]), lässt sich noch nicht sicher entscheiden, jedenfalls besitzt aber eine schwammige Gestaltung der Protoplasmakörper da, wo in demselben nicht unmittelbar zum Protoplasma gehörige Körper vertheilt sind. Doch auch ohne Entscheidung über diese Frage folgt aus den thatsächlichen Beobachtungen, dass weder dem ganzen Protoplasmakörper, noch einer eventuellen Grundmasse in diesem die Widerstandsfähigkeit eines wirklich festen Körpers zukommen kann[4]). Freilich ist damit noch nicht ausgeschlossen, dass die Grundmasse an sich zwar ein fester Körper ist, aber im lebenden Protoplasma eine leichte Verschiebbarkeit constituirender Theilchen aus analogen Gründen gestattet, wie wir sie für die Plasmamembran kennen lernten.

Bewegungsvorgänge können wohl zu Schlüssen hinsichtlich der Structur des Protoplasmas dienen, die Structur selbst aber wird in unserer Vorstellung an einen statischen Zustand im Protoplasma geknüpft sein. Es ist dieses öfters von Autoren bei Argumentationen über die Structur des Protoplasmas vernachlässigt worden, ebenso wie auch, dass wechselnde Gestaltung des Protoplasmakörpers ohne Variation der Resultanten aus Triebkraft und Widerständen unmöglich ist. So ist z. B. auch jüngst wieder diesen fundamentalen Principien bei Beurtheilung der Kugelgestaltung des Protoplasmas von Velten (l. c.) keine

1) Specielle Untersuchungen würden wohl über den Cohäsionszustand des lebenden Protoplasma besseren Aufschluss geben können. Ich erinnere z. B. daran, dass in Primordialzellen eine gewisse Cohäsion unvermeidlich ist, wenn der Widerstand der peripherischen Schichten als verschwindend und zugleich die Existenz einer gewissen osmotischen Wirkung nachgewiesen wird.

2) Vgl. Nägeli u. Schwendener, Mikroskop, 1867, p. 382.

3) Solcher netzförmige Bau ist vereinzelt beobachtet worden. Siehe Strasburger, Zellbildung und Zelltheilung. II. Aufl., p. 20 und Studien über Protoplasma 1876, p. 20.

4) Velten (Bot. Ztg. 1876, p. 327) nimmt einen Körper von festem Aggregatzustand im Protoplasma an. In der mir allein bekannten vorläufigen Mittheilung hat der Autor die Gründe für diese Annahme nicht dargelegt.

Digitized by Google

Rechnung getragen, so weit sich wenigstens nach der mir vorliegenden Notiz beurtheilen lässt. Wie wir die Eigenschaften des wasserreichen Protoplasmas kennen, ist das Hinstreben zur Kugelform stets ebenso sicher vorhanden, als zwischen den constituirenden Theilchen Molecularkräfte thätig sind, die jeweilige Form des Protoplasmakörpers ist ja aber das Resultat aus diesen Bestrebungen und anderen Wirkungen.

Kehren wir nun zur Betrachtung der Druckzustände innerhalb der Zellen zurück. Es ist früher gezeigt, wie und warum in unseren Niederschlagsmembranen, bei gleicher Concentration der Lösungen, Krystalloide eine ganz unverhältnissmässig höhere Druckkraft hervorbrachten als Colloide (p. 73) und so muss natürlich, um osmotisches Gleichgewicht zwischen Körpern beider Kategorien herzustellen, die Lösung eines Colloides viel concentrirter genommen werden, als die Lösung eines Krystalloides. Die nöthige Concentrationsdifferenz ist nicht allein von der Natur der angewandten Körper und den specifischen diosmotischen Eigenschaften der Membran, sondern auch von dem Concentrationsgrade der Lösungen abhängig, da dieser und die Druckhöhe nicht in einem einfachen Verhältnisse stehen. Wahrscheinlich nimmt im allgemeinen, von einer gewissen Dichte der Lösung ab, die Druckhöhe schneller zu als die Concentration, während unterhalb dieser Dichte sich die Sache gerade umgekehrt verhalten kann, wie in auffallender Weise die Versuche mit arabischem Gummi in Membran aus Ferrocyankupfer ergaben.

Der Zellsaft ist meist eine verdünnte Lösung von Salzen, welche aber eine gleiche osmotische Wirkung wie das substanzreiche Protoplasma hervorzubringen hat. In diesem sind nun Proteinstoffe verhältnissmässig reichlich enthalten, Colloide, welche, nach ihrer auffallend langsamen Diffusion zu urtheilen, immer nur geringe osmotische Druckhöhen erzeugen werden, wie es auch Versuche mit flüssigem Leim und Conglutin ergaben (p. 74). Es werden demgemäss gelöste Proteinstoffe in erheblicher Concentration im Protoplasma enthalten sein können, selbst dann noch, wenn andere im Protoplasma gelöst enthaltene Stoffe eine osmotische Leistung hervorbringen, welche nicht allzuviel hinter der des Zellsaftes zurückbleibt. Weil aber unbekannt ist, in wie weit andere osmotisch wirksame Körper sich im Protoplasma finden, kann natürlich nicht gefolgert werden, dass die eiweissartigen Stoffe im Protoplasma eine concentrirte Lösung bilden müssen. Uebrigens sprechen

Digitized by Google

Beobachtungen, wie die Erscheinungen bei Coagulation, dafür, dass in der That gelöste Proteinstoffe im Protoplasma in erheblicher Menge enthalten sind. In gleicher Weise ist es nun ohne weiteres verständlich, warum die colloidale Gerbsäure in den Gerbsäurekugeln in relativ hoher Concentration enthalten ist[1]) und umgekehrt folgt aus diesem Factum, dass die osmotische Wirkung der Gerbsäure in der sie umkleidenden Membran nur gering ist und ferner, dass der Gerbsäure krystalloide Körper nicht in erheblicher Menge beigemengt sein können. Ebenso wird eine erhebliche Beimischung von Colloiden zum Zellsaft die osmotische Leistung dieses vielleicht nur wenig steigern[2]). In Ferrocyankupfermembran wurde z. B. durch eine 6procentige Lösung von arabischem Gummi ein osmotischer Druck von 26 Ctm. Quecksilber erzeugt, während eine nur 1procentige Lösung von Kalisulfat eine osmotische Leistung von 192 Ctm. ergab.

Wenn zwei oder mehrere Körper sich nicht zersetzen, so wird die osmotische Leistung einer Lösung wohl nicht viel geringer sein, als die Summe der Wirkungen, welche die einzelnen Körper im isolirten Zustand ergeben (p. 67). Solches gilt natürlich nicht mehr, sobald chemische Umsetzungen ins Spiel kommen, und wenn z. B. ein Krystalloid zu einem Colloide würde, so könnte die osmotische Leistung der gemischten Lösung vielleicht sich in sehr hohem Maasse vermindern. Ob solches z. B. bei Verbindung gewisser Salze mit Eiweissstoffen eintritt, kann ich nicht sagen, wie dem aber auch sei, aus der einfachen qualitativen und quantitativen Kenntniss der Aschenbestandtheile des Protoplasmas wird man nicht auf die osmotische Leistung dieser im Protoplasma schliessen dürfen. Wohl aber würde eine Kenntniss aller gelösten Stoffe, ihrer osmotischen Einzelwirkung und der osmotischen Leistung der gemischten Lösung eventuell zu Schlüssen über Constitution der Körper in der Lösung führen können. Eine von solchen Gesichtspunkten geleitete Forschung könnte wohl zunächst unter Zuhülfenahme unseres osmotischen Apparates zur Entscheidung rein chemischer Fragen Verwendung finden.

Den höchsten osmotischen Druck übt der Inhalt einer Zelle gegen die Zellwandung natürlich dann aus, wenn diese mit reinem Wasser

1) Pfeffer, Physiol. Untersuchungen 1873, p. 12.

2) In manchen botanischen Schriften zieht sich die Annahme, die Colloide erzeugten hohen Turgor, wie ein Dogma hin. Beweise dafür sind aber niemals beigebracht worden.

Digitized by Google

imbibirt ist. Tritt an dessen Stelle eine Lösung, so vermindert sich entsprechend der auf der Zellwand lastende osmotische Druck und wird Null, wenn die die Zellwand imbibirende Lösung in Contact mit der Plasmamembran gleiche osmotische Wirkung wie die Inhaltsstoffe des Protoplasmas hervorbringt. Weitere Concentration der Aussenflüssigkeit contrahirt dann in bekannter Weise den Zellinhalt bis zu dem Grade, wo wieder osmotisches Gleichgewicht in Folge der durch Volumabnahme bedingten Concentration des Protoplasmas und des Zellsaftes hergestellt ist. Protoplasma und Zellsaft, und ebenso innerhalb dieser in einer Membran eingeschlossene Lösungen müssen ihr Volumen immer derart verändern, dass sich die zu beiden Seiten der Membran thätigen osmotischen Wirkungen im Gleichgewicht befinden. Da aber Concentration und Druckhöhe nicht in einem einfachen Verhältnisse stehen, so kann die Volumabnahme eine ungleiche sein und falls im Protoplasma eine Lösung von hoher Concentration vorliegt, so ist nach dem vorhin Gesagten einige Wahrscheinlichkeit vorhanden, dass das Volumen des Protoplasmas in geringerem Grade als das des Zellsaftes abnimmt. Wie der rasche Verlauf der Contraction zeigt, bewegt sich Wasser mit Schnelligkeit durch die Plasmamembranen, jedoch anscheinend nicht schneller als durch künstliche Niederschlagsmembranen; wenigstens schrumpfen mikroskopische Zellen aus gerbsaurem Leim in Zuckerlösung mit grosser Schnelligkeit. Die vollkommen freie Fläche der Membran wird allerdings die Wasserbewegung begünstigen (vgl. p. 59), doch muss man auch wohl beachten, wie an diesen kleinen Objecten das Verhältniss zwischen Rauminhalt und Oberfläche zu Gunsten dieser letzteren gestaltet ist.

Eine Lösung, welche eine gerade bemerkliche Abhebung des Protoplasmas von der Zellwand bewirkt, wird in der Plasmamembran eine nur um ein geringes höhere Druckwirkung hervorbringen, als sie der Inhalt der Zelle gegen die mit Wasser imbibirte Zellwandung ausübte. Vorausgesetzt ist hierbei, dass der von der Zellwandung umschlossene Raum bei der Contraction des Protoplasmas unverändert blieb, beide Seiten der Plasmamembran osmotisch gleichwerthig sind und Stoffe durch die Plasmamembranen nach keiner Richtung diosmiren, was z. B. bei Anwendung von Zuckerlösung mindestens äusserst annähernd erreicht ist. Auf solche Weise lässt sich nun freilich der in einer Zelle bestehende Druck nicht ermitteln, so lange wir von keinem Stoffe seine osmotische Leistung in einer Plasmamembran kennen und es wird deshalb vielmehr die Aufgabe sein, diese Leistung für einen Körper zu

Digitized by Google

bestimmen, indem der Druck des Zellinhaltes gegen die Zellwandung und die zur Aufhebung dieses Druckes nöthige Concentration einer Lösung von Zucker oder einem anderen Stoffe festgestellt wird.

Um so vorzugehen fehlen zunächst noch genügend exacte Bestimmungen des von der Zellwand getragenen osmotischen Druckes. Ist aber die osmotische Leistung eines Körpers in der Plasmamembran in der angegebenen Weise einmal ermittelt, dann wird es möglich den in einer Zelle herrschenden osmotischen Druck durch Feststellung der zur beginnenden Contraction des Protoplasmas nöthigen Concentration der fraglichen Lösung zu bestimmen. Freilich muss dann für diesen Körper noch die Beziehung zwischen Concentration und Druckhöhe bekannt sein und ausserdem müssten sich die Plasmamembranen verschiedener Zellen identisch verhalten. Beides dürfte wohl durch Ausdehnung der zur Ermittelung der osmotischen Leistung geeigneten Experimente auf eine grössere Zahl von Objecten bis zu einem gewissen Grade festgestellt werden können.

Da gleiche Contraction an demselben Objecte gleiche osmotische Leistung des angewandten Mediums anzeigt, so wird durch die zu gleicher Contraction nöthige Concentration der Lösungen verschiedener Körper, die relative Menge dieser bestimmt, welche in der Plasmamembran denselben osmotischen Druck erzeugt [1]). Die so gefundene Relation wird aber nicht dieselbe bleiben müssen, wenn die Dichte der Lösungen verändert wird, da ja Concentration und Druckhöhe nicht in einem einfachen Verhältniss und bei verschiedenen Körpern in ungleicher Weise zunehmen. Wenn aber die an einem Objecte ermittelte Scala bei einer anderen Pflanze ebenfalls gleiche Contraction hervorbringt, so wird dadurch in hohem Grade wahrscheinlich werden, dass die osmotischen Leistungen dieser Plasmamembranen überhaupt identische sind. Uebrigens ist es an sich wahrscheinlich, dass die von derselben Lösung in den Plasmamembranen verschiedener Zellen bewirkten Druckhöhen nicht sehr wesentlich verschieden ausfallen werden.

---

1) De Vries (Sur la perméabilité du protoplasma u. s. w. Archiv Néerlandaises 1871, Bd. VI., Separatabdruck p. 7) hat an Zellen der rothen Rübe für eine Reihe von Salzen die Concentration der Lösung bestimmt, welche nöthig ist, um dieselbe Contraction hervorzubringen. Ob diese Lösungen, welche gleiche Wirkung an der Pflanzenzelle hervorbringen, z. B. in Membran aus Ferrocyankupfer auch gleiche Druckhöhe erzeugen würden oder nicht, kann ich nach den mir vorliegenden Daten nicht genügend beurtheilen, doch scheint es mir nach nicht vorwurfsfreien Erwägungen, dass in der Plasmamembran der Concentrationsunterschied der Lösungen von Salpeter und Rohrzucker, welche gleiche osmotische Wirkung haben, geringer ist, als in Membranen aus Ferrocyankupfer.

Digitized by Google

Um die soeben eröffneten Gesichtspunkte praktisch verwerthen zu können, fehlen noch die nöthigen Untersuchungen. Immerhin zeigen die mit künstlichen Niederschlagsmembranen gewonnenen Resultate, im Vergleich mit der zur Aufhebung des Turgors in Pflanzenzellen nöthigen Concentration einer Lösung, wie in den Pflanzenzellen hohe osmotische Druckkräfte zu erwarten sind. So wurde in den Parenchymzellen der Staubfäden von Cynara Scolymus beginnende Contraction des Protoplasmakörpers durchschnittlich durch eine Rohrzuckerlösung von 8 bis 10 Procent Gehalt erzielt und eine solche würde in einer Membran aus Ferrocyankupfer eine Druckhöhe von etwa 5 Atmosphären bewirken [1]). In den Blattstielgelenken von Mimosa pudica wurde der osmotische Druck gewöhnlich durch eine 6procentige Zuckerlösung aufgehoben, welche freilich in Membran aus Ferrocyankupfer nicht solche Druckhöhe erzeugen würde, wie sie in activen Parenchymzellen des Gelenkes bestehen muss, in denen schon eine theilweise Aufhebung des Turgors durch eine Reizung, eine Erniedrigung des Druckes von 5 Atmosphären nach sich ziehen kann [2]). Allein die osmotische Leistung des Zuckers in Ferrocyankupfermembran ist ja auch kein Maass für dessen osmotische Leistung in einer Plasmamembran, welche thatsächlich erheblich höhere Werthe ergeben muss, weil eben der in den Gelenkzellen von Mimosa bestehende hohe Druck osmotisch zu Stande kommt.

Die von mir an bewegungsfähigen Objecten über die Kraft dieser Bewegungen ausgeführten Messungen konnten der Natur der Sache nach kein genaues Maass für die in einzelnen Zellen bestehende Druckkraft abgeben, sondern nur zeigen, welches Minimum von Druckhöhe mindestens in gewissen activen Zellen bestehen muss, wenn die bewegende Kraft osmotischen Ursprunges ist. So ist es denn auch vollkommen unzulässig, die so gewonnenen Zahlen und die zur Contraction des Protoplasmas nöthige Concentration zu vergleichen, um etwa gar

1) Der osmotische Druck in Zellen der Filamente von Cynara Scolymus ist sicher höher als 1 Atmosphäre (Pfeffer, Physiol. Unters. 1873, p. 124). Die Reduction des durch directe Messung gefundenen weit höheren Druckes auf obiges Maass ergab sich aus am a. O. nachzusehenden, auf die Volumzunahme der gewaltsam gedehnten Zellen basirte Erwägungen. Diese bestehen allerdings zu Recht, und eine Senkung des Turgors mit der Dehnung ist nothwendig, wenn nicht während und nach dieser der osmotische Druck durch Wasseraufnahme wieder steigt. Solches wird thatsächlich wohl der Fall sein, da die imbibirten Zellwände Wasser liefern können und die Aufnahme dieses schnell von Statten geht. Es dürfte deshalb wohl der Turgor nicht in dem Maasse bei der Dehnung der Filamente sinken, wie ich es früher annahm.

2) Pfeffer, Periodische Bewegungen 1875, p. 112.

Digitized by Google

hiernach beurtheilen zu wollen, ob derselbe Stoff in Plasmamembranen verschiedener Zellen gleiche oder ungleiche Druckhöhe bewirkt. Ich beschränke mich deshalb auch auf die obigen kurzen Angaben und weise nur noch darauf hin, welche ungeheuer hohe osmotische Druckkraft unter Umständen in Zellen herrschen muss, da z. B. Zellen sehr zuckerreicher rother Rüben erst durch eine 27procentige Zuckerlösung beginnende Contraction des Inhaltes ergeben. Dass und warum die Zellhaut sehr hohem hydrostatischen Druck Widerstand zu leisten vermag, habe ich an einem anderen Orte auseinander gesetzt [1].

Form und Volumen einer frei liegenden Zelle sind stets Resultante aus Elasticität und Dehnbarkeit (resp. Wachsthumsfähigkeit) der Zellhaut einerseits und dem auf dieser lastenden Druck des Inhaltes anderseits. Variirt einer dieser Componenten ihrer Intensität nach, so muss auch das Volumen der Zelle sich ändern und zwar um so mehr, je erheblicher die Dehnbarkeit der Zellhaut ist. Hier aber wollen wir annehmen, Volumen und Form des von der Zellhaut umschlossenen Raumes bleibe unverändert, um uns zunächst den Erfolg klar zu machen, welchen Vermehrung oder Verminderung der osmotisch wirksamen Stoffe haben muss, wenn hiervon allein das Protoplasma oder allein der Zellsaft betroffen wird. Wir setzen weiter voraus, dass kein osmotisch wirkender Stoff die Zelle verlässt und auch nicht zwischen Protoplasma und Zellsaft diosmotisch ausgetauscht wird, die Plasmamembran selbst aber ihre osmotischen Eigenschaften unverändert beibehalte. Es sei hier noch daran erinnert, dass ein gelöster Körper in einer Membran die maximale osmotische Druckhöhe erzeugt, sobald der Körper nicht durch die Membran diosmirt.

Mit chemischen Metamorphosen kann natürlich der osmotische Druck sich ändern und dass chemische Processe sowohl im Protoplasma, als im Zellsaft vor sich gehen, ist ja eine bekannte Sache. Nehmen wir zunächst an, es finde eine Steigerung der osmotischen Wirkung der Inhaltsstoffe im Zellsaft statt, dann wird dieser dem Protoplasma Wasser entziehen,

---

1) Bei Hohlgefässen aus festen Körpern wird die Widerstandsfähigkeit gegen Druck bei gewisser Wandstärke ein Maximum erreichen können, wie solches auch Mendeljeff für Glasröhren fand (Berichte d. chem. Gesellschaft 1874, p. 126). Ein solches Maximum gibt es aber nicht für solche Wandungen, in denen die durch Beugung entstehende Spannung in irgend einer Weise, sei es durch die specifische Molecularstructur oder durch Wachsthum, bis auf ein geringes Maass ausgeglichen wird.

Digitized by Google

bis durch Verdünnung des Zellsaftes und der gleichzeitigen Concentrirung des Protoplasmas zu beiden Seiten der Membran wieder osmotisches Gleichgewicht besteht. Während hier das Volumen des Zellsaftes zunahm, das des Protoplasmas sich dagegen verringerte, wird es sich gerade umgekehrt gestalten, wenn eine Verminderung der osmotischen Leistung des Zellsaftes eintritt. Ebenso muss Druckzunahme im Protoplasma das Volumen dieses vergrössern, das des Zellsaftes vermindern, eine Druckabnahme im Protoplasma aber gerade zu dem umgekehrten Resultate führen.

In allen Fällen steigt der gegen die Zellhaut ausgeübte Druck, wenn im Protoplasma oder im Zellsaft die osmotische Leistung zunimmt, und sinkt im umgekehrten Falle. Weiss man, ob der Druck gegen die Zellhaut sinkt oder steigt[1]) und kennt man zugleich die relative Volumänderung von Protoplasma und Zellsaft, so ist damit auch festgestellt, in welchem dieser beiden die osmotische Leistung variirte und ob dieses im positiven oder negativen Sinne geschah. Sind im Zellsaft oder Protoplasma von einer wachsthumsfähigen Niederschlagsmembran umkleidete Gebilde (z. B. Gerbsäuretropfen) vorhanden, so muss jede Volumänderung des Protoplasmas und Zellsaftes auch auf diese Gebilde rückwirken und zwar derart, dass der Rauminhalt derselben mit Concentrirung des umgebenden Mediums sinkt und mit Verdünnung steigt. Findet eine solche Volumänderung statt und ist ausserdem bestimmt, entweder wie sich der Druck gegen die Zellhaut oder wie sich das Volumen von Zellsaft und Protoplasma ändert, so ist in beiden Fällen der Ort und der Sinn der osmotischen Variation ermittelt, vorausgesetzt, dass in den fraglichen Gebilden selbst die osmotisch wirksame Substanz dieselbe blieb.

Wie sich die Verhältnisse gestalten müssen, wenn eine Schwankung in der osmotischen Wirkung sich gleichzeitig im Protoplasma und Zellsaft geltend macht, ist aus obigem leicht abzuleiten; eine Volumänderung, als Resultante der beiden in gleichem oder entgegengesetztem Sinne ausfallenden Wirkungen, ist nach den Regeln der Wahrscheinlichkeit natürlich fast immer zu erwarten. Ist nun eine solche Raumveränderung Thatsache, so kann man selbstverständlich nicht wissen, ob jene nur vom Protoplasma oder nur vom Zellsaft oder von beiden gleichzeitig ausgeht. Dieses ist auch nicht zu entscheiden, wenn zu-

---

1) Es würde unter obigen Voraussetzungen auch eine Senkung dieses Druckes anzeigen, wenn eine verdünntere Lösung eines Stoffes zu gleicher Contraction ausreichte.

Digitized by Google

gleich die Aenderung des von der Zellhaut getragenen Druckes und der Raumverhältnisse anderer von Niederschlagsmembran umkleideter Gebilde (Gerbsäurekugeln, Vacuolen u. s. w.) bekannt ist, wenigstens würde nur dann eine bestimmte Schlussfolgerung möglich sein, wenn gewisse quantitative Bestimmungen vorlägen, welche zur Zeit nicht ausführbar erscheinen. Allerdings wird z. B. eine Zunahme des Druckes gegen die Zellhaut und gleichzeitige Volumzunahme des Protoplasmas bestimmt anzeigen, dass im Protoplasma jedenfalls die osmotische Wirkung stieg, jedoch es eben fraglich lassen, ob gleichzeitig im Zellsaft eine geringere Zunahme oder Abnahme der osmotischen Wirkung vor sich ging. Derselbe Zweifel wird auch in allen andern Fällen bleiben, wenn z. B. der Zellsaft an Volumen gewinnt oder verliert, während der Druck gegen die Zellwand steigt oder fällt. Wenn aber zufällig eine Zunahme der osmotischen Wirkung in Protoplasma und Zellsaft in gleichem Verhältniss stattfände, so dass die beiderseitigen Volumina constant blieben, so würde doch diese Druckzunahme einmal aus der Pressung gegen die Zellhaut und ausserdem auch aus der Raumverminderung von Gerbsäurekugeln oder anderen eingeschlossenen Gebilden folgen und dann zugleich die relativ gleiche Aenderung der osmotischen Wirkung in Protoplasma und Zellsaft feststehen.

Der Erfolg von osmotischen Druckschwankungen an Zellen, welche mit elastischer und dehnbarer Zellhaut umkleidet sind, sowie auch an Zellen, welche eine Zellhaut nicht besitzen, ist leicht vorauszusagen. Bleiben die osmotisch wirksamen Stoffe ganz unverändert, während sich das Volumen der Zelle durch vermehrten Druck von aussen vermindert, so werden sich bei Ausgabe von Wasser Protoplasma und Zellsaft in wesentlich gleicher Weise betheiligen, wie bei Contraction mit einem wasserentziehenden Medium.

Wenn, entgegen unsrer bisherigen Voraussetzung, die diosmotischen Eigenschaften der Plasmamembran sich derart ändern sollten, dass dieselbe Lösung nun in dieser eine andere Druckhöhe erzeugt, so könnten sich auch Schwankungen der relativen Volumina von Protoplasma und Zellsaft abspielen, deren Verlauf unter gegebenen Bedingungen leicht vorauszusagen ist. In zweierlei Weise könnte die Plasmamembran Steigerung oder Senkung des osmotischen Druckes herbeiführen, entweder indem sie einem zuvor nicht diosmirenden Stoffe Durchtritt gestattet, oder indem sie, ohne eine solche Aenderung, derartig ihre Eigenschaften modificirt, dass dieselbe Lösung nunmehr eine andere Druckhöhe hervorbringt, gleichviel in welcher Weise eine solche Aenderung erzielt wird. Um die Druckhöhe in der zuletzt erwähnten Weise erheblich

Digitized by Google

fallen oder steigen zu machen, müsste jedenfalls die Substanz der Membran wesentliche Modification erfahren (gewisse Infiltration würde kaum ausreichen), für welche die bis dahin bekannten Eigenschaften der Plasmamembran, ihr diosmotisches Verhalten, ihre Entstehung und Fortbildung keineswegs sprechen. Wenn aber die Diosmose eines zuvor nicht diosmirenden Stoffes eingeleitet wird — falls solches durch Aenderungen in der Membran überhaupt vorkommt — so bleibt zunächst die durch die nicht diosmirenden Stoffe erzeugte Druckhöhe unverändert und ausserdem weicht diese bei sehr geringer Exosmose eines Körpers nur wenig von der maximalen Druckhöhe ab, welche mit Aufhebung der Diosmose derselbe Körper in derselben Membran erzeugen würde. Eine jedenfalls nur langsame Exosmose der wirkenden Körper folgt aber daraus, dass die Inhaltsstoffe lebender Zellen, in der Form und Verbindung in welchen sie in den Zellen enthalten sind, erfahrungsgemäss nicht erheblich durch die Plasmamembran diosmiren. Die Wahrscheinlichkeit spricht also dafür, dass durch Veränderungen in den Plasmamembranen sehr erhebliche Schwankungen der Druckhöhe nicht hervorgerufen werden; freilich kann ich dieses zur Zeit nicht durch einen zwingenden Beweis zur Gewissheit erheben. — Darauf mache ich hier noch aufmerksam, dass die Dicke der Membran keinen Einfluss auf die Druckhöhe hat.

Es kann keinem Zweifel unterliegen, dass die Consequenzen, welche soeben auf Grund der Eigenschaften der Plasmamembran und der osmotischen Wirkung in dieser entwickelt wurden, während des Lebens der Pflanzenzelle in den relativen Volumina von Protoplasma und Zellsaft, sowie der von Plasmamembran umschlossenen Gebilde ihren Ausdruck finden werden, freilich oft complicirt durch Aenderung des Gesammtvolumens der Zelle und noch durch andere Verhältnisse. Bildet sich z. B. Stärke oder Oel aus Glycose, so muss, wenn sich solches im Zellsaft abspielt, die osmotische Wirkung dieses ja nothwendig, eventuell sogar in hohem Grade sinken und Processe von analoger osmotischer Bedeutung für Zellsaft oder Protoplasma liessen sich nach bekannten Thatsachen vielfach anführen. Es ist ja aber auch in der That bekannt, dass der Wassergehalt des Protoplasmas in verschiedenen Entwicklungsphasen der lebensthätigen Zelle augenscheinlich ein verschiedener ist, wie es auch nach unseren Darlegungen unter gewissen Bedingungen nothwendig der Fall sein muss. Nach obigem und nach dem was über Bildung der Plasmamembran bekannt ist, können wir auch voraussagen, unter welchen Umständen Vacuolen im Protoplasma auftreten müssen und wenn und wodurch die Vacuolen

Digitized by Google

sich vergrössern. Freilich wird es noch ausgedehnter Untersuchungen bedürfen, um diese und andere Fragen bestimmter auf ihre causalen Bedingungen zurückführen zu können, umgekehrt werden aber auch die entwickelten Gesichtspunkte, im Verein mit anderweitigen Thatsachen, benutzt werden können, um die Art und Weise chemischer Metamorphosen innerhalb der Zelle näher zu verfolgen.

Mit neuen Waffen wird man nun auch an die sich schneller abwickelnden Bewegungs- und Wachsthumsvorgänge (Reizbarkeit, periodische Bewegungen u. s. w.) herantreten können, sowohl um zu ermitteln, ob die Bewegungsursache in osmotischen Druckkräften liegt, als auch um positiven Falles die Fragen zu prüfen, ob die maassgebende Action sich im Protoplasma oder im Zellsaft abspielt. Aus den relativen Volumina dieser würde letzteres natürlich nur mit den vorhin geltend gemachten Einschränkungen festzustellen sein. In der Praxis wird freilich die Ermittlung solcher relativer Volumänderung mit erheblichen und eventuell unüberwindlichen Schwierigkeiten zu kämpfen haben, auch dann, wenn Rauminhalt und Form der Zelle annähernd constant erhalten werden und das Object anderweitige Hindernisse einer Messung nicht entgegenstellt. Selbst wenn das Protoplasma eine einfache Wandschicht bildet, wird doch, der gestaltlichen Aenderungen dieses Körpers halber, eine Controle des Volumens von Protoplasma und Zellsaft durch directe Achsenmessung nicht leicht mit genügender Genauigkeit ausführbar sein und noch weniger ist ein Erfolg dann zu hoffen, wenn der Protoplasmakörper eine complicirtere Gestalt besitzt.

Jedenfalls wird man an solche Achsenmessungen überhaupt nur dann denken können, wenn die Volumschwankungen sehr erheblich sind, was allerdings bei gewissen Reizbewegungen und periodischen Bewegungen zu erwarten ist, wo der Druck um mehr als die Hälfte und um viele Atmosphären sinken kann. Denn an sich verdünnte Lösungen, wie sie der Zellsaft bietet, müssen, damit ihre osmotische Leistung so weit herabgedrückt wird, jedenfalls durch Wasseraufnahme sehr erheblich, vielleicht proportional der Druckabnahme verdünnt werden, während für concentrirte Lösungen, wie sie vielleicht für Colloide im Protoplasma vorliegen, in Betracht kommt, dass von einer gewissen Concentration ab die Druckhöhen schneller als die Concentration zunehmen können.

Zur Beurtheilung der uns hier beschäftigenden Fragen können aber, wie vorhin gezeigt wurde, auch von wachsthumsfähiger Membran umkleidete Gebilde benutzt werden, wie sie u. a. in Vacuolen und Gerbsäurekugeln, vielleicht auch im Zellkern, Chlorophyllkorn u. s. w. vor-

Digitized by Google

liegen und an solchen Gebilden wird, wenn sie die Kugelgestalt bewahren, eine Volumänderung, durch eine nur 2 Achsen bestimmende Messung, mit grösserer Genauigkeit und mit grösserer Hoffnung auf Erfolg zu controliren sein. Letzteres ist wohl sicher zu erwarten, wenn das Volumen um $^1/_4$ und mehr schwankt, obgleich natürlich die Radien nur im Verhältniss der Cubikwurzeln aus den Volumina zunehmen oder abnehmen. Das Volumen solcher Körper ändert sich nach Maassgabe der osmotischen Wirkung des sie umgebenden Mediums und ist diese Schwankung Thatsache, so kann auch dann noch eine bestimmte Entscheidung unserer Fragen möglich sein, wenn sich das Volumen der Zelle gleichzeitig vergrössert oder verkleinert. Wäre aber für die fraglichen Gebilde die Volumänderung bei constantem und variablem Rauminhalt der Zelle ermittelt, so würde eventuell die Grösse der Druckänderung selbst zu bestimmen sein und auch noch weitere Schlussfolgerungen dürften im Vereine mit anderweitigen Beobachtungen gezogen und auf sicheren Fuss gestellt werden können.

Wahrscheinlich dürften die gewöhnliche Ursache osmotischer Druckschwankung nicht Modificationen in der Plasmamembran, sondern Vorgänge im Zellinhalt sein, welche letzteren wir insgesammt als chemische Processe bezeichnen dürfen, da es sich ja immer um Aenderungen der Eigenschaften eines Körpers handelt. Im allgemeinen wird eine jede chemische Reaction, sofern sie osmotisch wirkende Stoffe betrifft, Senkung oder Steigerung der Druckhöhe bewirken, denn gleiche osmotische Wirkung eines Körpers und der aus ihm hervorgegangenen Producte hat ja wenig Wahrscheinlichkeit für sich. Mit dem Stoffwechsel muss deshalb der osmotische Druck in einer Zelle sehr gewöhnlich schwanken und Eingriffe, welche auf den Stoffwechsel wirken, kommen auch für den osmotischen Druck in Betracht. Wie sich dieser senken muss, wenn z. B. aus Glycose Oel oder Stärke entsteht, liegt auf der Hand, ebenso wenn aus einem Krystalloid ein Colloid hervorgeht und der unter Umständen ungeheure Unterschied in der Wirkung beider wird sehr grosse osmotische Druckdifferenzen bewirken können, ohne dass ein unlöslicher Körper entsteht.

Causale Erklärung der Druckschwankungen wird somit gewöhnlich an die Aufhellung chemischer Processe geknüpft sein, für deren Beginn und Verlauf der specifische Aufbau der Pflanzenzelle in hohem Grade maassgebend sein kann. So ist z. B. schon an einem Beispiel, dem Eisenchlorid, gezeigt worden, wie mit Hülfe der Diosmose aus einem krystalloiden ein colloidaler Körper gebildet werden kann (p. 93) und

Digitized by Google

nicht minder werden osmotische Processe für solche Vorgänge in Betracht kommen, welche nur indirect, d. h. auslösend auf osmotische Druckhöhe, resp. die diese erzeugenden Körper wirken[1]). Eine kleine Menge eines Stoffes kann ja, wie Fermente lehren, eventuell chemische Zersetzung einer grossen oder gar unbegrenzten Quantität eines anderen Stoffes vermitteln. Analogien, welche im Princip die in der Pflanze sich abspielenden chemischen Vorgänge begreiflich erscheinen lassen, fehlen zwar in keinem Falle, wenn auch die nächste causale Erklärung der in der Pflanze wirklich verlaufenden chemischen Metamorphosen fast überall noch mangelt, wie auch diese Metamorphosen selbst erst zum geringsten Theile bekannt sind. Plötzliche Senkung des osmotischen Druckes, welche z. B. bei Reizbewegungen vorkommt, fordert eine rapid verlaufende Reaction, wie wir ja auch solche ausserhalb des Organismus unter Umständen durch einen seinem Arbeitsmaasse nach verschwindend geringen Auslösungsvorgang, irgend einen kleinen Anstoss von aussen, veranlasst finden; so z. B. bei der fast augenblicklichen Ausscheidung gelöster Körper aus übersättigten Lösungen und dem plötzlichen Uebergang gelöster Colloide in den sog. pectösen Zustand, Processe, die ja nothwendig eine Senkung des osmotischen Druckes mit sich bringen müssen.

Wo die osmotische Druckhöhe wiederholte Schwankung zulässt, wie z. B. bei Reizbewegungen, muss jene entweder durch Eingreifen neuen Materiales oder durch Rückkehr desselben Stoffes auf seinen Ausgangspunkt regenerirt werden, welches letztere u. a. bei Reizbarkeit wohl sicherlich stattfindet. Aber auch in diesem Falle müssen immer zwei antagonistische und wohl zu trennende Leistungen thätig sein, natürlich auch dann, wenn u. a. durch die der Materie innewohnenden Molecularkräfte die Rückkehr auf den anfänglichen Zustand herbeigeführt werden sollte, welcher ja nur durch einen anderen Eingriff aufgehoben werden konnte. Anders, als durch im entgegengesetzten Sinne thätige Kräfte, kann auch innerhalb des Organismus unmöglich eine Regeneration von Stoffen zu Stande kommen und wenn wir sachgemäss nicht das Bild einer einfachen, sondern einer doppelten Reaction ins Auge fassen, so sind auch in zahlreichsten Fällen die Mittel geboten, um ausserhalb des Organismus einen chemischen Process wieder rückgängig machen zu können.

---

1) Auch elektrische, capillare u. a. Kräfte können natürlich auslösend hinsichtlich der osmotischen Wirkung sein, insofern sie z. B. chemische Processe hervorrufen.

Digitized by Google

Gleichviel ob im Protoplasma oder im Zellsaft die den osmotischen Druck regulirende Reaction verläuft, die Fragen, mit denen die Forschung an diese Vorgänge treten muss, bleiben im Princip dieselben. Chemische Processe spielen sich aber bekanntermassen sowohl im Zellsaft, als im Protoplasma ab und a priori kann deshalb jedenfalls nicht als wahrscheinlich angesehen werden, dass die nächste Ursache der osmotischen Druckschwankung etwa im Protoplasma zu suchen ist und dieses auch aus naheliegenden Gründen dann nicht, wenn die Anschauung, welche im Protoplasmakörper den eigentlich lebensthätigen Theil des Organismus sieht, vollkommen begründet ist.

Schwankungen und Leistungen des Druckes, die sichtbaren und messbaren Symptome osmotischer Wirkung, können wohl den Ort angeben, an dem ein chemischer Vorgang verläuft, ohne weiteres aber nie den sich chemisch ändernden Stoff und die Art und Weise der Reaction näher kennen lernen. Im Vereine mit anderweitigen Thatsachen werden aber die Volumen- und Druckschwankungen Anhaltspunkte bieten, um chemische Metamorphosen innerhalb der Zelle und deren Verlauf näher verfolgen zu können. Mit alleiniger Beachtung der Druck- und Volumverhältnisse kann freilich die physiologische Forschung schon in Gebiete dringen, welche bis dahin meist unangreifbar erschienen. So kamen z. B. die Untersuchungen über die Ursache der Bewegungsvorgänge nicht über die Frage hinaus, ob eine Veränderung in der Zellhaut oder im Zellinhalt bestimmender Factor sei, während wir nun zu der Hoffnung berechtigt sind, den morphologisch gegliederten Zellinhalt in physiologischer Hinsicht als einen complexen osmotischen Apparat in allen den Fragen mit Erfolg behandeln zu können, welche sich auf osmotischen Austausch und osmotische Leistungen beziehen.

Die Volum- und Druckschwankungen sind immer nur das consecutive Glied chemischer (resp. physikalischer) Vorgänge, die Frage nach diesen ist mit jenen aufgeworfen und wenn diese Frage nicht sogleich in weiterem Umfang beantwortet werden kann, so wird doch jede wahrnehmbare Reaction entweder über den chemischen Process selbst gewisses Licht verbreiten, oder wenigstens als Controle für osmotische und andere Vorgänge werthvoll sein können. Farbenänderung, Ausscheidung von Stoffen und Lösungserscheinungen an Körpern sind u. a. auch mikroskopisch wahrnehmbare Reactionen, welche der Aufklärung chemischer Vorgänge dienstbar gemacht werden können, sei es nun, dass für solche und andere Reactionen die Bedingungen schon in der Zelle gegeben sind, oder erst durch vorausgehende Operationen geschaffen werden müssen und dann sind ja auch mikroskopisch wahrnehmbare Reactionen

Digitized by Google

durchaus nicht die einzigen Mittel, um die in der Zelle sich abwickelnden Processe zu verfolgen.

Welche methodischen Wege jetzt und fernerhin geboten sind, ihr Ziel vereint sich in dem Streben, Stoffwechsel und Leistungen der Zelle auf die bedingenden Ursachen zurückzuführen. Graduell und specifisch verschieden thätige Zellen sind aber im Organismus vereinigt; Stoffwechsel und Leistungen der einzelnen Organe und des ganzen Organismus sind Resultante aus den Vorgängen und Wirkungen der einzelnen Zellen, natürlich mit Berücksichtigung von Hemmungen und Widerständen durch passive Gewebe und andere Verhältnisse. Alle chemischen und physikalischen Vorgänge in der Pflanze werden von dem im weiteren Sinne genommenen Begriff von Stoffwechsel und Kraftwechsel (Leistungen im Organismus) umschlossen und da es sich hierbei in letzter Instanz um Wirkungen molecularer Kräfte und die durch diese erzeugten Bewegungsvorgänge handelt, so darf man von Mechanik der Zelle sprechen, deren Ziel es ist, Stoffwechsel und Kraftwechsel causal zu erklären.

22. Zellmechanik von Bewegungsvorgängen.

Bei Wachsthum und Bewegung, bei Saftausfluss, überhaupt bei den mannigfachsten Vorgängen spielen in der Pflanze osmotische Druckkräfte eine mehr oder minder hervorragende Rolle und kommen deshalb die vorausgegangenen fundamentalen Untersuchungen für eine grosse Zahl physiologischer Fragen in Betracht. Freilich wird es ausgedehnter Arbeiten bedürfen, um die gewonnenen allgemeinen Gesichtspunkte auszubeuten. Wenn mir nun in dieser Richtung noch keine abschliessenden Forschungen zu Gebote stehen, so ist es doch geboten einige mit osmotischem Druck zusammenhängende physiologische Vorgänge zu beleuchten, um die derzeitige Sachlage zu klären. Ich beginne mit den Reizbewegungen, welche mir selbst den ersten Anstoss zu meinen osmotischen Untersuchungen gaben, indem ich einsah, dass ich ohne diese in die Mechanik der Zelle nicht tiefer eindringen konnte.

Durch meine früheren Untersuchungen[1]) an den Staubfäden von Cynareen und den Gelenken von Mimosa pudica stellte ich fest, dass bei einer Reizbewegung aus den Zellen dieser Objecte eine erhebliche Menge Wasser austritt. Diese Wasserabgabe konnte an den Schnittflächen der Gelenke von Mimosa und der zuvor mit Wasser injicirten Filamente von

---

1) Pfeffer, Physiologische Untersuchungen 1873.

Digitized by Google

Cynara unmittelbar wahrgenommen werden, wurde aber für die Filamente von Cynara auch noch durch die aus Messungen an den cylindrischen Zellen sich ergebende Volumabnahme festgestellt. Während der Reizbewegung nimmt nun, wie ich weiter zeigte, der von der gedehnten elastischen Zellwand auf den Zellinhalt ausgeübte Druck nicht zu und in keinem Falle kann also der Wasseraustritt durch eine Steigerung des Druckes veranlasst werden, welchen die Zellhaut auf den Protoplasmakörper ausübt.

Auf Grund dieser Thatsachen konnte ich als höchst wahrscheinlich hinstellen, was jetzt, nach unseren osmotischen Untersuchungen, vollkommen erwiesen ist, dass nämlich nicht die Zellhaut, sondern der Zellinhalt irgend eine Aenderung erfährt, welche das Hervorpressen von Flüssigkeit aus der Zelle durch den Druck der elastischen und gedehnten Zellmembran herbeiführt. Denn wenn sich auch die Zellhaut derart ändern sollte, dass nun in ihr dieselbe Lösung eine geringere osmotische Druckhöhe erzeugen würde — und dieser Einwand konnte früher gemacht werden — so könnte solches doch in keinem Falle einen Austritt von Wasser aus der Zelle veranlassen, so lange die Zellmembran mit unveränderter Kraft auf den Inhalt presst, weil ja die osmotische Druckhöhe von der Plasmamembran bestimmt wird. Und diese Druckhöhe muss unter solchen Umständen ebensogut constant bleiben, als in derselben Niederschlagsmembran, welche auf verschieden poröse Thonzellen aufgelagert wird.

Bei der Reizbewegung wirkt also die Zellhaut nur, indem sie wie ein elastisch gespannter Ballon aus dem Zellinhalt Wasser auspresst, wenn der Druck, und sagen wir gleich der osmotische Druck, im Innern sinkt. Der Wasseraustritt dauert so lange an, bis die mit der Verkleinerung der Zelle abnehmende elastische Spannung der Zellhaut und die mit Concentrirung des Zellinhaltes zunehmende osmotische Wirkung sich im Gleichgewicht befinden. Weiterhin wird dann die Zelle durch die allmälig wieder steigende osmotische Druckhöhe auf das frühere Maass ausgedehnt. Diese Druckschwankungen können an den reizbaren Zellen von Mimosa pudica 5 Atmosphären überschreiten[1]) und auch bei den Filamenten von Cynara Scolymus dürften sie grösser, vielleicht erheblich grösser als 1 Atmosphäre sein[2]). In allen Fällen aber sinkt der osmotische Druck bei einer Reizbewegung nur partiell, wie die weitere Verkleinerung der noch gedehnten elastischen Zell-

1) Pfeffer, Periodische Bewegungen 1875, p. 112.
2) Vgl. diese Abhandlung p. 179 Anmerkung.

Digitized by Google

wandungen bei Aufhebung des Turgors zeigt. Deshalb bleibt die Plasmamembran der Zellwand immer angeschmiegt und auch dann wird eine Abhebung nicht stattfinden können, wenn eine Volumabnahme der gereizten Zelle verhindert wird, was übrigens auch directe Versuche mit Staubfäden von Centaurea Jacea bestätigten [1]).

An eine Zunahme osmotisch wirksamer Stoffe in der die Zellhaut imbibirenden Flüssigkeit und eine hierdurch bewirkte Reizverkürzung ist aus verschiedenen Gründen nicht zu denken. Ich begnüge mich damit darauf hinzuweisen, dass mit Wasser injicirte und in Wasser liegende Staubfäden von Cynareen wiederholt mit gleichem Erfolg gereizt werden können, obgleich unter diesen Umständen sicher die in der Zellwand vorhandenen löslichen Stoffe zum guten Theil entfernt worden wären. Aus diesen und anderen Versuchen folgt auch, dass nennenswerthe Mengen der Zellinhaltsstoffe bei einer Reizbewegung jedenfalls nicht durch die Plasmamembran diosmiren. Erwähnen will ich nur, was übrigens auch leicht zu ersehen ist, dass variable Capillarspannung der Flüssigkeit in der an luftführende Räume grenzenden Oberfläche der Zellhaut, eine Bedeutung für Wasseraustritt in Folge einer Reizung nicht haben kann.

Das nächste Ziel meiner früheren Untersuchungen musste auf Entscheidung der Frage gerichtet sein, ob Zellinhalt oder Zellhaut der reizbare Theil sei und, wie ich voraussagen konnte, ist diese Frage mit der Kenntniss der osmotischen Wirkung der Plasmamembran nunmehr definitiv entschieden. In welcher Weise im Zellinhalt die Druckschwankung herbeigeführt wird, muss auf empirischem Wege ermittelt werden und unlösbar erscheint diese Aufgabe jetzt nicht mehr. Ohne die von uns gewonnenen Fundamente standen aber meine früheren bezüglichen Erwägungen auf unklarem und unsicherem Boden und war auch mein allgemeiner Schluss, durch die Reizung werden im Zellinhalt Veränderungen geschaffen, welche eine Hervorpressung von Wasser unter dem von der Zellhaut ausgeübten Druck herbeiführen (vgl. l. c. p. 155), richtig, so war ich doch auf unrichtigem Wege, als ich wahrscheinlich zu machen suchte, dass die Reizbewegung durch eine Erweiterung der molecularen Zwischenräume in der Plasmamembran (ich nannte diese Primordialschlauch) zu Stande komme [2]). Diese Anschauung wird dadurch wider-

1) Pfeffer, Botan. Zeitung 1875, p. 290.

2) Diesem Irrthum lag eine unrichtige Auffassung hinsichtlich des Zustandekommens der maximalen osmotischen Leistung zu Grunde. Auch in einer vor-

Digitized by Google

legt, dass eine diosmotische Entfernung von Inhaltsstoffen aus der Zelle bei einer Reizbewegung jedenfalls nicht in bemerklicher Weise eintritt und unter diesen Umständen kann sich die Druckhöhe nicht durch Erweiterung der molecularen Zwischenräume in der Plasmamembran senken. — Das kann auch nicht durch Austausch osmotisch wirksamer Stoffe zwischen Protoplasma und Zellsaft stattfinden[1]) und in Folge eines solchen Vorganges könnte die Druckhöhe ja auch nur dann sinken wenn sie bei Verdünnung des Protoplasmas oder des Zellsaftes schneller als die Concentration abnähme (vgl. p. 64). Die hohen Druckschwankungen müssen aber in osmotischen Wirkungen ihren Grund haben, da, wie früher gezeigt wurde, das Protoplasma nicht im Stande ist, ansehnliche Druckkraft etwa dadurch zu entwickeln, dass es wie ein aufquellender fester Körper wirkt.

Als nächste Ursache der Reizbewegung bieten sich noch zwei Möglichkeiten dar, entweder muss die osmotische Wirkung im Zellsaft oder im Protoplasma sinken oder sich auch gleichzeitig in beiden verändern, oder aber die Plasmamembran muss eine solche Modification erfahren, dass dieselben Stoffe, ohne zu diosmiren, nun eine geringere osmotische Wirkung hervorbringen, wie solches z. B. mit Erweiterung der Diffusionszone ja erreicht werden könnte (p. 50). Diese letztere Alternative kann im Augenblick zwar noch nicht geradezu widerlegt werden, hat aber jedenfalls wenig Wahrscheinlichkeit für sich, indem die von der Plasmamembran ausgehende Molecularwirkung gewaltige Umgestaltung erfahren müsste, um z. B. die Druckhöhe bei Mimosa unter die Hälfte und um mehr als 5 Atmosphären herabzudrücken, was nicht wohl anzunehmen ist, wenn man erwägt, dass die übrigen diosmotischen Eigenschaften der Plasmamembran, so weit sich beurtheilen lässt, während der Reizbewegung unverändert bleiben.

Es muss hiernach als ziemlich gewiss erscheinen, dass die eigentliche Ursache der Druckschwankung in einer durch die Reizung herbeigeführten Veränderung im Zellinhalt beruht, welche die osmotische Wirkung dieses herabsetzt[2]). Ob dieser Vorgang im Protoplasma oder im Zellsaft, oder in beiden sich abspielt, kann nur empirisch entschieden werden und es ist zu hoffen, dass gleichzeitig eine end-

läufigen Mittheilung war ich noch in jener fehlerhaften Auffassung befangen und demgemäss habe ich die über Reizmechanik bekannten Facta unrichtig interpretirt. Siehe diese Abhandlung p. 84 Anmerkung.

1) Ich meine hier einfachen diosmotischen Austausch, ohne dass irgend ein chemischer Process in Folge dieses Austausches zu Stande kommt.

2) Die mechanische Ursache für Schwankung des Volumens in pulsirenden Vacuolen dürfte wohl auch in veränderten osmotischen Wirkungen zu suchen sein

Digitized by Google

gültige Entscheidung bezüglich der veränderten osmotischen Wirkung der Plasmamembran zu erreichen sein wird [1].

Wie sich an unseren Objecten die Reizbewegung im Näheren abspielt, wohin das austretende Wasser seinen Weg nimmt und andere Punkte können in meinen bezüglichen Arbeiten nachgesehen und hier übergangen werden, da wir ja nur die fundamentalen mechanischen Vorgänge in der reizbaren Zelle im Auge haben. Wenn nun auch die osmotischen Vorgänge zur Zeit noch nicht innerhalb der Zelle localisirt und die nächsten Ursachen der osmotischen Variation nur allgemein als chemische Vorgänge (moleculare Umlagerungen) angesprochen werden können, so ist doch über Art und Weise der Auslösung dieser molecularen Umlagerungen in den osmotisch wirkenden Stoffen eine gewisse Vorstellung auf Grund von Erwägungen zu gewinnen, welche ich schon in meiner Arbeit über Reizbarkeit entwickelte (l. c. p. 142) [2].

Wird der auf Reiz reagirende Zustand durch Chloroform oder anhaltende mechanische Erschütterung nach der Reizbewegung einer Zelle sistirt, so nimmt diese doch die frühere Form wieder an, indem der osmotische Druck wieder auf gleiche Höhe wie vor der Reizung steigt. Wird dann mit chloroformiren oder Erschütterung aufgehört, so kehrt die Reactionsfähigkeit des Organes zurück und zwar nicht plötzlich, sondern allmälig, so dass eine Reizung zunächst nur eine beschränkte und erst nach gewisser Zeit die volle Bewegungsamplitude

---

1) Auch die reizbaren Zellen sind contractile Organe, deren Contractionsursache eben erklärt wurde. Mehr, als die Existenz von Dimensionsänderungen an relativ widerstandsfähigen Körpern, wird mit dem Worte Contractilität nicht ausgedrückt, wenn man entsprechend dem ursprünglichen Begriffe, mit diesem Worte einfach die Annäherung fester Theilchen bezeichnet. Eine causale Erklärung der Dimensionsänderung eines Körpers ist natürlich nicht gegeben, wenn diesem Contractilität zugeschrieben wird, deren Ursachen eben erst aufgedeckt werden müssen. Trotzdem und obgleich mehr als einmal der Irrthum hervorgehoben ist (z. B. in Hofmeister's Pflanzenzelle p. 61), begegnet man gelegentlich immer wieder Arbeiten, in welchen sich die Autoren dem Glauben hingeben, sie hätten die mechanische Ursache gestaltlicher Aenderungen erklärt, indem sie einem Organe Contractilität zuschreiben. — Ohne besondere Begründung scheinen auch immer wieder Muskelcontraction und Reizmechanik als analoge Vorgänge aufgefasst zu werden. Das unzutreffende solcher Auffassung wurde zuletzt von Munk (Die elektrischen und Bewegungserscheinungen bei Dionaea 1876, p. 113) gegen Sanderson dargethan.

2) Ich nehme hier an, dass in der osmotisch wirkenden Lösung, resp. in deren Veränderung die Ursache der Reizbewegung begründet ist. Die nachstehenden Schlussfolgerungen können übrigens leicht übertragen werden, wenn die Plasmamembran der variable Theil sein sollte.

Digitized by Google

hervorbringt. Wie aus diesen Beobachtungen hervorgeht, wird durch die Reizung in der Zelle nur vorübergehend eine moleculare Umlagerung bewirkt, welche, unabhängig von der Erregbarkeit, wieder auf den vor der Reizung bestehenden Gleichgewichtszustand zurückkehrt. Gleichheit der osmotischen Wirkung in der reizbaren und nicht reizbaren Zelle, sowie Rückkehr der Erregbarkeit ohne Schwankung des osmotischen Druckes lassen eine andere Deutung nicht zu.

Nach obigen Thatsachen muss, um die Erregbarkeit wieder herzustellen, etwas zu dem schon Bestehenden hinzutreten, das für osmotische Wirkung nicht wesentlich in Betracht kommt und die einfachste Annahme ist, dass eine kleine Menge eines Körpers gebildet wird, welcher, indem er sich bei Reizung zersetzt, auslösend wirkt, d. h. die Umwandlung hervorruft, welche die Senkung des osmotischen Druckes zur Folge hat. Die Rückkehr auf die frühere osmotische Druckhöhe könnte dann vielleicht nur Folge der der Materie inhärenten molecularen Kräfte sein. Der auslösende Vorgang wirkt aber nicht etwa analog einem Funken, der, in Pulver fahrend, die ganze Masse zur Explosion bringt, sondern die auslösende Kraft kann immer nur eine begrenzte, wenn auch vielleicht verhältnissmässig sehr grosse Menge der osmotisch wirkenden Stoffe umwandeln, da, wie schon erwähnt wurde, eine Reizung zunächst eine nur beschränkte Bewegungsamplitude hervorruft, wenn die Erregbarkeit allmälig zurückkehrt.

Die aus unserer Deduction gewonnene Anschauung ist eine Hypothese, welche indess mit bekannten Thatsachen in Einklang steht. Plötzliche Zersetzungen durch Stoss und überhaupt durch geringen Anstoss sind ja zur Genüge bekannt und sowohl hinsichtlich des auslösenden, wie des ausgelösten Vorganges liessen sich Zusammenstellungen ausführen, welche in rein formeller Hinsicht die osmotische Drucksenkung in Folge eines Stosses veranschaulichen könnten (vgl. auch p. 186). Ich unterlasse hier solche Bilder auszumalen und ebenso näher darauf hinzuweisen, in welcher Weise die sich hier aufdrängenden Fragen vielleicht auf experimentellem Wege zu entscheiden sind [1]).

1) Einige nur ganz beiläufig angestellte Versuche führten zu keinem Resultat. Ich erwähne hier, dass die Reizbarkeit der Cynareen bei Verdrängung des Sauerstoffs sogleich erlischt, aber leider ist mit diesem negativen Resultat die Existenz eines ohne Sauerstoffverbrauch zerfallenden Stoffes nicht widerlegt. Weiter veranlasste mich die Thatsache, dass Jodstickstoff durch hohe Violintöne explodirt (Champion u. Pellet, Poggendorff's Annalen 1873, Ergänzungsband Nr. 6, p. 174), Staubfäden von Centaurea an die Saiten der Violine zu befestigen, fand aber, dass sie bei kräftigem Anstreichen nicht gereizt wurden. Indess könnten Töne von grösserer Schwingungszahl wohl ein positives Resultat liefern.

Digitized by Google

Welche Bewegungsvorgänge wir auch ins Auge fassen oder mit einander vergleichen wollen, gewisse übereinstimmende Fragen werden uns immer entgegentreten. Wenn wir von äusserem oder innerem Anstoss, sowie von der Form und dem zeitlichen Verlauf der Bewegung absehen, so wird dann zunächst immer zu entscheiden sein, ob in Zellhaut oder in Zellinhalt die Bewegungsursache liege. Gesetzt nun diese sei z. B. in osmotischen Druckverhältnissen gegeben, so könnten zwei Bewegungen wohl in dieser nächsten mechanischen Ursache übereinstimmen, indess hinsichtlich des Entstehungsortes des Druckes, oder der osmotisch wirkenden Stoffe oder überhaupt in irgend einem Gliede der Kette von Vorgängen untereinander abweichen, welche sich von der durch einen äusseren oder inneren Anstoss unmittelbar erzeugten Wirkung bis zu den den osmotischen Druck regulirenden Processen hinzieht. Streng genommen kann man die Zellmechanik zweier Bewegungsvorgänge nur dann qualitativ identisch nennen, wenn alle Glieder dieser Kette übereinstimmen, aber wenn solches auch nicht zutrifft, so werden doch einzelne Processe natürlich qualitativ identisch oder auch nur analog sein können. Nach solchen Principien wird die Zellmechanik von Bewegungsvorgängen zu beurtheilen sein, sowohl wenn es sich um einen Vergleich der Bewegungsvorgänge an denselben oder an verschiedenen Objecten handelt. Hinsichtlich der Zellmechanik werden aber möglicherweise zwei, der Erregungsursache und der habituellen Erscheinung nach übereinstimmende Bewegungen ganz oder theilweise von einander abweichen, während in einem anderen Falle vielleicht das Umgekehrte zutrifft.

Unsere Kenntniss der inneren Ursachen von Bewegungs- und Wachsthumsvorgängen ist zu mangelhaft, um die Zellmechanik verschiedener Objecte einer Vergleichung unterziehen zu können. Wenden wir unsere Blicke auf die durch Stoss auslösbaren Reizbewegungen, so darf man hier nach dem bei der Bewegung stattfindenden Austritt von Wasser aus den Filamenten von Berberis[1]) und nach der Erschlaffung in den Gelenken von Oxalis[2]) vermuthen, dass auch in diesen Objecten

1) Pfeffer, Physiolog. Untersuchungen 1873, p. 157. — Die Bemerkung Nägeli's und Schwendener's (Mikroskop II. Aufl., p. 374), Wasser könne in interstitienlosen Geweben nicht mit genügender Schnelligkeit fortgeleitet werden, wird durch die Beobachtungen an Filamenten von Berberis direct widerlegt, indem bei diesen Wasser aus einer Schnittfläche rapid hervorschiessen kann. Freilich sind hier die Zellwände ziemlich dick, doch lässt sich zeigen, dass auch dünnere Zellwände Wasser so schnell fortleiten können, wie es eine nicht zu eilig verlaufende Reizbewegung fordert.

2) Ebenda p. 74.

Digitized by Google

osmotische Druckschwankungen die nächste Bewegungsursache sind. Dieses dürfte auch für andere analoge Reizbewegungen zutreffen, wenigstens ist keine Thatsache bekannt, welche dagegen spräche. Ob freilich die ganze mit der Bewegung zusammenhängende Zellmechanik in allen Fällen identisch verläuft, das möchte ich nicht behaupten. — Für die reizbaren Ranken ist nicht bekannt, ob osmotische Druckschwankung die Bewegungsursachen abgibt, wofür indess einige Wahrscheinlichkeitsgründe zu sprechen scheinen; Wachsthum in Folge der Bewegung würde hier dann als ein neuer Factor ins Spiel kommen. Die Erregung wird hier aber nicht durch einmaligen Stoss, sondern durch anhaltende Berührung hervorgebracht und mit Rücksicht auf diesen Auslösungsvorgang bedarf es specieller Untersuchungen, welche vielleicht einmal diese und andere Wirkungen des Contactes in ihrer Bedeutung für Wachsthumserscheinungen auf einheitliche Gesichtspunkte zurückführen werden.

Durch Darwin[1]) haben wir zwei zu unterscheidende Bewegungsvorgänge auch für manche sog. fleischfressende Pflanzen kennen gelernt, welche man mit Munk[2]) als Reiz- und Resorptionsbewegungen bezeichnen kann. Jene werden durch mechanische Stösse, diese durch chemische Einwirkung erzielt und beide können wesentlich ungleich verlaufen, wie z. B. bei Dionaea, wo eine Reizbewegung in kürzester Zeit, eine Resorptionsbewegung erst nach 1 bis 2 Tagen die Schliessung des Blattes herbeiführt und auch in anderer Hinsicht machen sich Unterschiede in der Art und Weise der Erregung und der Abwicklung beider Bewegungen geltend. In wie weit der Mechanismus beider Bewegungen übereinstimmt oder verschieden ist, darüber lässt sich aber nach den bis jetzt vorliegenden Untersuchungen kein Urtheil fällen. Auch ist nicht bekannt, ob die Zellmechanik der Reizbewegungen bei diesen Pflanzen dieselbe ist, wie bei Mimosa und Cynareen, was wenigstens für Dionaea[3]) wahrscheinlich scheint.

Eigene Untersuchungen hat Darwin nicht über die Bewegungsmechanik selbst angestellt und seine Discussion über diese ist in hohem Grade mangelhaft. Nach Darwin's Auffassung[4]) dürften die Zellwände sich zusammenziehen, wobei etwas von der eingeschlossenen Flüssigkeit nach aussen gedrängt würde oder falls dieses nicht zutrifft,

1) Insectenfressende Pflanzen, deutsch von Carus 1876.

2) Die elektrischen und Bewegungs-Erscheinungen am Blatte der Dionaea muscipula 1876, p. 97.

3) Munk, l. c., p. 121.

4) L. c., p. 234. Auch p. 289.

Digitized by Google

wäre es am wahrscheinlichsten, »dass der flüssige Inhalt der Zellen in Folge einer Aenderung in seinem molecularen Zustand zusammenschrumpft, dem dann ein Zusammenschliessen der Wandungen folgt.« Nun fährt Darwin fort, »wie dem auch sei, die Bewegung kann kaum der Elasticität der Wandungen in Verbindung mit einem vorausgehenden Spannungszustande zugeschrieben werden« und mit dem Inhalt dieses Satzes tritt er in unlösbaren Widerspruch mit seiner Anschauung über Reizmechanik, wenn wenigstens Elasticität und Spannung in dem in Physik und Physiologie stets gebrauchten Sinne genommen werden. Uebrigens lassen Darwin's Aussprüche die mechanischen Vorgänge bei der Reizbewegung ziemlich unbestimmt und es würde die zuerst erwähnte Anschauung mit der von uns für gewisse Objecte nachgewiesenen Reizmechanik übereinstimmen, wenn eben die Ursache der Zusammenziehung der Zellwände in Senkung des osmotischen Druckes begründet wäre. Eine weitere Kritik von Darwin's Argumentation kann ich um so mehr unterlassen, als auch schon Munk [1]) das fehlerhafte und unzureichende dieser dargethan hat.

In manchen Drüsenhaaren hat Darwin eine unter gewissen Umständen eintretende Ausscheidung eines Körpers kennen gelernt, welche zwar die nächste mechanische Ursache der Resorptionsbewegung bei Drosera und anderen Objecten nicht ist, indess als auslösender Vorgang in irgend einem, wenn auch nur verwickeltem Zusammenhang mit den Bewegungsvorgängen überhaupt stehen dürfte [2]). Ob und wie dieses der Fall ist, kann ich hier aber ganz auf sich beruhen lassen, da ich das Phänomen nur behandeln will, weil es mit Rücksicht auf gewisse Fragen der Zellmechanik ein anschauliches und lehrreiches Bild vorführt. Ich beschränke mich hier auf die Drüsenhaare von Drosera rotundifolia, an welchen auch Darwin hauptsächlich Beobachtungen anstellte.

Im Stiele der Drüsenhaare von Drosera zeigen die Parenchymzellen in ganz normaler Weise Protoplasma und Zellsaft gesondert, welch letzterer meist durch einen gelösten Farbstoff roth gefärbt, jedoch auch in manchen Haaren farblos ist. Das farblose, lebhaft strömende Protoplasma bildet einfach eine Wandschicht oder durchzieht auch in

---

1) L. c., p. 111.

2) Mehr hierüber Darwin l. c., p. 208 ff. — Auch Munk l. c.

Digitized by Google

Strängen und Bändern den Zellraum, und besitzt, entgegen der nachdrücklichen Behauptung von Francis Darwin[1], einen ganz normalen Zellkern, welcher nicht schwieriger als in manchen anderen Parenchymzellen zu finden und nach Färbung mit Jod absolut nicht zu übersehen ist. Durch mechanische Reizung der Drüsen und auch durch Einwirkung von Reagentien kann nun die schon erwähnte Ausscheidung eines Körpers im Zellsaft hervorgerufen werden, welche sich von Zelle zu Zelle in dem Stiele der Haare fortpflanzt. Hinsichtlich des Ausscheidungsvorganges selbst, habe ich der ausführlichen Beschreibung von Darwin, Vater und Sohn, nichts wesentliches hinzuzufügen. Indem ich auf die Arbeiten dieser Forscher verweise, bemerke ich nur, dass zunächst der Zellsaft sich trübt, dann die ausgeschiedenen Stoffe allmälig sich zu grösseren Massen aggregiren, bis endlich eine Anzahl kugeliger Körper gebildet ist[2].

Wie die in farblosen Zellen entstehenden ungefärbten Kugeln zeigen, ist der Farbstoff für den Ausscheidungsprocess nicht nothwendig, in den gefärbten Zellen wird der Farbstoff aber von den sich ausscheidenden Massen, welche, beiläufig bemerkt, Eiweissstoffe[3] sind, in ganz analoger Weise aufgespeichert, wie von anderen unlöslichen Proteinstoffen. Meistens entfärbt sich der Zellsaft ganz, doch bleibt er bei sehr farbstoffreichen Zellen wohl dann und wann auch schwach gefärbt, offenbar weil die Menge der ausgeschiedenen Stoffe nicht ausreichte, um allen Farbstoff zu binden. Der Protoplasmakörper erhält sich während und nach dieser Ausscheidung im wesentlichen unverändert und nach wie vor findet man das ungefärbte Protoplasma in lebhafter Strömung, welche freilich dann, wenn eine gewisse Menge Ammoniumcarbonat in die Zelle eindrang, aufgehoben wird, jedoch bei baldigem Auswaschen dieses Salzes in einiger Zeit wiederkehrt. Wenn man mit

---

1) Francis Darwin, The process of aggregation in the tentacles of Drosera rotundifolia. Quarterly Journal of Microscopical Science 1867, new ser. Vol. XVI, p. 310.

2) Die sich hierbei abspielenden Formänderungen, auf welche Darwin besonderes Gewicht zu legen scheint, sind schliesslich keine anderen, als sie auch bei Ausscheidung mancher amorpher Körper, wenn diese als zähflüssige Masse sich ausscheiden, unter gewissen Verhältnissen verfolgt werden können.

3) Es geht dieses namentlich daraus hervor, dass diese ausgeschiedenen Massen beim Liegen in Alkohol in den coagulirten Zustand übergehen und nun in verdünntem Kali unlöslich sind. Uebrigens muss diese unlösliche Modification auch unter gewissen Umständen in Wasser leicht gebildet werden, doch sind mir die Bedingungen hierfür nicht klar. Im übrigen geben die ausgeschiedenen Massen mit den üblichen Reagentien Reactionen wie Eiweissstoffe. Vgl. auch Fr. Darwin, l. c., p. 315.

Digitized by Google

Zuckerlösung contrahirt, so kann man sich leicht überzeugen, dass der Protoplasmakörper stets als ein der Zellhaut angepresster Sack bestehen blieb, wie solches, wenigstens hinsichtlich der Plasmamembran, der Umstand fordert, dass Turgor in den Zellen der Haare auch nach den Ausscheidungsvorgängen im Zellsaft noch besteht[1]).

Obige, und ebensowenig der beiden Darwin's Darstellung lässt irgend welchen Zweifel darüber, dass diese Zusammenballung im Zellsaft sich abspielt. Wenn dennoch Darwin, Vater und Sohn, diese Massen als Protoplasma ansprechen, so fehlten sie eben gegen den Begriff, der diesem Worte von seinem Autor beigelegt und fernerhin festgehalten wurde, wonach wir mit Protoplasma einen morphologisch distincten Theil des Zellkörpers bezeichnen, nicht aber dieses Wort als Collectivbegriff für Proteinstoffe benutzen. Gegen Schleiden, welcher »Protoplasma« in diesem letzteren Sinne adoptiren wollte, hat Mohl[2]) selbst sich entschieden verwahrt und den hier von Mohl gerügten Fehler hat auch F. Darwin wieder begangen, indem er die Zusammensetzung der Kugeln aus Proteinstoffen als Argument dafür anspricht, dass sie aus Protoplasma bestehen müssten[3]). Mit Hinweis auf diesen fundamentalen Irrthum ist diese Angelegenheit erledigt und darf ich deshalb unterlassen, andere ebenso hinfällige Gründe zu widerlegen, welche nach F. Darwin die ausgeschiedenen Massen als Protoplasma characterisiren sollen.

Die fragliche Ausscheidung wird, wie wir durch Ch. Darwin wissen, durch mechanische und chemische Reizung der Drüsen bewirkt, von denen aus sie dann von Zelle zu Zelle sich im Haare fortpflanzt. So weit bekannt, können mechanische Reize nur durch Vermittlung der Drüse wirken, Ammoniumcarbonat bringt aber auch ohne solche Vermittlung, was Darwin nicht erwähnt, Zusammenballung zu Wege. Wird ein einzelnes, seiner Drüse beraubtes Haar in eine Lösung von kohlensaurem Ammonium gebracht (ich wandte eine Lösung aus 1 Theil Salz und 150 Theilen Wasser an), so beginnt baldigst die Ausscheidung in den an beide Schnittflächen grenzenden Zellen und schreitet von diesen aus in der Längsrichtung des Haares fort. In einer halben Stunde

1) Ich gehe hierauf mehr als eigentlich nöthig ein, weil beide Darwin's über das Fortbestehen des Protoplasmakörpers nach definitiver Zusammenballung keine ganz bestimmten Aussagen machen und weil Ch. Darwin (l. c., p. 37) meint, Heckel habe bei Berberis vielleicht eine ähnliche Erscheinung beobachtet, während dieser ausdrücklich unrichtigerweise das Protoplasma sich contrahiren lässt. Siehe hierüber Pfeffer, Botan. Zeitung 1875, p. 289 u. 1876, p. 10.

2) Botan. Zeitung 1855, p. 690. Anmerkung.

3) F. Darwin, l. c., p. 315.

Digitized by Google

ist dann wohl gewöhnlich die Ausscheidung in allen Zellen vollendet, während geköpfte Haare in reinem Wasser in dieser und selbst in noch längerer Zeit keine Veränderung im Zellsaft zeigen[1]). Die Ausscheidung beginnt und setzt sich in der angegebenen Weise fort, weil das Ammoniumcarbonat leicht an den Schnittflächen in die Zellen dringt, während die cuticularisirte Oberfläche des Haares dieses Salz nicht oder doch sehr langsam diosmiren lässt. Wird die Cuticula an irgend einer Stelle verletzt, so macht sich deshalb auch das Eindringen des Ammoniumcarbonats durch die von dieser Stelle ausgehende Ausscheidung baldigst bemerkbar. Einen ganz analogen Vorgang bezüglich der Aufnahme von kohlensaurem Ammonium kann man übrigens beobachten, wenn man abgeschnittene Staubfadenhaare von Tradescantia in die erwähnte Lösung bringt. Die durch das Eindringen unseres Salzes bewirkte Farbenänderung schreitet dann von den verletzten Zellen aus in den aneinandergereihten Zellen fort. An den unverletzten Haaren von Drosera ist es eben die an der Spitze des Haares stehende Drüse, welche das Ammoniaksalz aufnimmt und deshalb würde die Ausscheidung auch dann von hier aus nach der Basis des Haares fortschreiten, wenn die Drüse nur als Aufnahmestelle, nicht anderweitig in Betracht käme. Auch an der Seite des Haares finden sich kleine Drüsen, welche Ammoniumcarbonat, wenn auch anscheinend langsamer als die Hauptdrüse, aufnehmen, denn der Inhalt dieser und wohl auch der der zunächst angrenzenden Zellen kann schon die kugligen Massen enthalten, ehe die von der Spitze des Haares ausgehende Ausscheidung bis zu dem fraglichen Punkte gelangte.

Nach Entfernung der Drüse kann also nicht ein mechanischer Reiz, wohl aber Ammoniumcarbonat die Ausscheidung im Zellsaft bewirken und es fragt sich nun, ob dieses thatsächlich leicht in die Zelle eindringende Ammoniaksalz direct ausfällend wirkt oder ob etwa im Protoplasma (oder Zellsaft) Zersetzungen hervorgerufen werden, welche auslösend im Zellsaft wirken, nachdem die Zersetzungsproducte in diesen auf diosmotischem Wege gelangt sind[2]). Ich kann zur Zeit nicht ent-

---

1) Nach Ch. Darwin, l. c., p. 37) kommt eine beschränkte Ausscheidung zu Stande, wenn eine Köpfung der Haare dicht unterhalb der Drüsen vorgenommen wird. Wenn ich die Drüsen ein wenig tiefer abschnitt, so fand gewöhnlich in keiner Zelle eine Ausscheidung statt.

2) Ammoniak bringt im Protoplasmakörper auffallende gestaltliche Veränderungen in ähnlicher Weise hervor, wie niedere Temperatur und andere Einwirkungen, ohne zunächst eine Tödtung herbeizuführen. Siehe hierüber Nägeli und Schwendener, Mikroskop 1867, p. 398; vgl. auch Hofmeister, Pflanzenzelle, p. 53.

Digitized by Google

scheiden, welche dieser Alternativen zutrifft, bin aber überzeugt, dass auf experimentellem Wege eine bestimmte Beantwortung möglich sein wird. Uebrigens ist zu beachten, dass, wegen des hohen Molecular-gewichtes der Proteinstoffe, eine grosse Gewichtsmenge dieser durch eine kleine Ammoniakmenge aus einer Lösung eventuell ausgefällt werden kann. Um nun zu ermitteln wie und wodurch die Drüsen z. B. bei mechanischem Reize wirken, würde es zunächst geboten sein, die Wirkung gewisser Körper auf geköpfte und ungeköpfte Haare vergleichend zu studiren, was ich bis dahin nicht ausführte. Bemerkenswerth ist aber, dass verdünnte Salzsäure die Auflösung der durch Ammoniak ausgeschiedenen Massen, und zwar an der Schnittfläche des Haares beginnend, auflöst.

Beachtet man nun die Art und Weise, wie von der mechanisch gereizten Drüse aus und in ganz analoger Weise von jeder Stelle aus, an welcher Ammoniumcarbonat eindrang, die Ausscheidung von Zelle zu Zelle fortschreitet, so kann man nicht zweifeln, dass in Folge der Reizung irgend ein gelöster Stoff aus der Drüse in die angrenzenden Zellen diosmirt. Dieses muss entweder veranlasst werden durch Steigerung der Permeabilität in der Plasmamembran der Drüsenzellen oder durch eine chemische Metamorphose im Inhalt der Zellen, welches letztere mir wahrscheinlicher zu sein scheint. Dann läge aber hier eine durch mechanischen Stoss hervorgebrachte Zersetzung vor, welche auch einen Körper liefert, der, indem er in andere Zellen diosmirt, in diesen wirkt, nämlich die Ausfällung von Eiweissstoffen im Zellsaft herbeiführt. Hier darf man hoffen alle Glieder einer durch mechanischen Stoss herbeiführbaren Reaction aufhellen zu können, welche auch zu einer Schwankung des osmotischen Druckes führen könnte, aber natürlich nicht führen muss. Denn während z. B. Colloide ausgefällt werden, könnten z. B. zuvor in colloidaler Verbindung festgehaltene Krystalloide gleichzeitig in Freiheit treten und nun vermöge ihrer höheren Wirkung den durch die substanzärmere Lösung hervorgebrachten osmotischen Druck sogar steigen machen. Irgend eine Compensation müsste in der That bei Drosera nothwendig ins Spiel kommen, wenn der osmotische Druck constant bliebe, trotz der massenhaften Ausscheidung von Eiweissstoffen, welche freilich Colloide von geringer osmotischer Wirkung sind. Die fragliche Ausscheidung kann nun in der That bei Drosera ohne Einkrümmung der Haare vor sich gehen, aber nach diesem Factum kann noch nicht behauptet werden, dass der osmotische Druck durch die Ausscheidung ganz und gar nicht geändert wird.

An diesen Auslösungsvorgang schliessen sich aber eine ganze Reihe

Digitized by Google

von Fragen an, welche der experimentellen Behandlung zugänglich zu sein scheinen. So würde z. B. hier zu entscheiden sein, ob der von den Drüsen abgegebene Körper nur direct ausfällend im Zellsaft wirkt, oder ob auch in den Parenchymzellen der Haare Quantitäten des die Reaction herbeiführenden Stoffes erzeugt werden. Es ist dieses eine principiell wichtige Frage, da im ersteren Falle die Menge des ausfällbaren Stoffes von der Quantität des von der Drüse abgegebenen Reagens abhängig ist, nicht aber im zweiten Falle, wo sogar die Möglichkeit gegeben ist, dass die Reaction mit Fortschreiten von Zelle zu Zelle lawinenartig anschwillt, wenn nämlich die zur Disposition stehende Menge des auslösend wirkenden Stoffes von Zelle zu Zelle zunimmt. So wächst ja die Intensität der Erregung bei der Fortpflanzung im Nerven und bei Mimosa pudica wird im allgemeinen die Fortpflanzung von Blättchen zu Blättchen beschleunigt, wenn das Endblättchen eines Fiederstrahles gereizt wird. Hier wirkt die Wasserbewegung im Gefässbündel [1] auslösend, deren lebendige Kraft von Gelenk zu Gelenk einen Zuwachs erhält, bis endlich im primären Blattstiel und im Zweige, d. h. beim Uebergang in breitere und längere Strombahn, Schnelligkeit und in Folge überwiegender Hemmung auch die lebendige Kraft der Wasserbewegung abnehmen. Wie sich nun bei Drosera die Sache verhält, lässt sich aus den schönen Untersuchungen Darwin's [2] über die Fortpflanzung der Ausfällung im Zellsaft allein nicht bestimmt entscheiden. Man wird übrigens geneigt sein, wenigstens in einem gewissen Sinne eine Anschwellung der Auslösung anzunehmen, indem die Reizung einer Drüse die Ausfällung durch das Haar und das Blattparenchym bis zum oberen Ende eines anderen Haares fortpflanzen und also zur Ausfällung einer verhältnissmässig grossen Menge von Eiweissstoffen Veranlassung geben kann.

Weiter ist es vielleicht möglich die Natur der sich in der Drüse zersetzenden Stoffe und den Zersetzungsvorgang überhaupt ganz, oder wenigstens bis zu einem gewissen Grade aufzuklären. So können z. B. Anhaltspunkte aus einem vergleichenden Studium der Wirkung bestimmter Stoffe auf geköpfte und ungeköpfte Haare und aus Beachtung des Secretionsvorganges gewonnen werden, welcher letztere eine Säure aus der Fettsäurereihe liefern soll [3]. Freilich muss Experiment und Inter-

---

1) Den Gedanken an eine andere Uebermittlung des Reizes musste ich auf Grund specieller Untersuchung zurückweisen. Siehe Jahrbücher f. wiss. Botanik 1873—1874, Bd. IX, p. 308.

2) Ch. Darwin, l. c., p. 208.

3) Vgl. Ch. Darwin, l. c., p. 79.

Digitized by Google

pretation von grosser Umsicht geleitet sein und wohl zu beachten ist dabei, dass die Plasmamembran vermöge specifischer diosmotischer Eigenschaft die Scheidung zweier Körper herbeiführen kann. Unter anderem kommt dieses auch bei Deutung der Wirkung von verschiedenen Ammoniaksalzen auf geköpfte Haare in Betracht, da jene in Lösungen partiell dissociirt enthalten sein können [1]).

Die allgemeinen Gesichtspunkte, welche sich bei Betrachtung der Reizbewegungen ergaben, gelten auch für andere gestaltliche Aenderungen der Zelle, insofern und insoweit Wachsthums- und Bewegungsvorgänge von Organen aus den Leistungen einzelner Zellen resultiren. Bei Leistungen der Zelle nach aussen und bei Formänderungen der Zelle sind immer Druck von innen und Widerstand der Zellhaut wesentliche Factoren und wenn die gestaltliche Aenderung eine nicht rückgängig zu machende ist, so sprechen wir von Wachsthum der Zellhaut, welches wieder für sich, namentlich insofern es sich um Einschiebung neuer Massentheilchen handelt, ein besonderes Kapitel der Zellmechanik ausmacht.

Wie und in wie weit Wachsthum und überhaupt dynamische Leistungen, also auch die Zellmechanik, der experimentellen Forschung zugänglich ist, wurde von Sachs [2]) klargelegt. Die Zelle ist, wie der ganze lebende Organismus, mit erblichen Eigenschaften ausgestattet, welche die Zellmechanik zur Zeit nicht behandeln kann und auch nicht zu behandeln hat, wenn sie sich die Aufgabe stellt, die thatsächlichen Leistungen, wie sie sich unter gegebenen Bedingungen abspielen, auf die nächsten Ursachen zurückzuführen und in diesem Sinne causal zu erklären. Es ist dieses eine analoge Aufgabe, als wenn die Leistungen eines complicirt gebauten Apparates aus dem Zusammengreifen seiner Theile erklärt werden soll, ohne dass über die Art und Weise, wie dieser Apparat zu Stande kam, Rechenschaft gefordert wird.

Arbeitsleistung des Organismus wird durch Uebergang von Spannkraft in lebendige Kraft vermittelt und wie auch immer diese Umwandlung vor sich gehen mag, gewisser Molecularprocesse bedarf es stets und diese zu erforschen ist Aufgabe der Zellmechanik. Die gesammten Molecularprocesse fallen nun entweder unter den Begriff »Stoffwechsel« oder »Kraftwechsel«, wenn wir unter diesem letzteren die dynamischen

1) Vgl. Naumann, Allgemeine Chemie 1875, p. 546.
2) Lehrbuch d. Botanik IV. Aufl. p. 744.

Digitized by Google

Leistungen, unter Stoffwechsel alle molecularen Umlagerungen, oder sagen wir kurz die Statik der Molecularprocesse verstehen. »Auslösend« ist aber jeder beliebige Anstoss, welcher zur Verwandlung von potentieller in actuelle Energie Veranlassung gibt.

Wie äussere und innere Wachsthumsursachen[1]), müssen auch äussere oder inducirte und innere oder autonome Auslösungsursachen unterschieden werden, je nachdem ein äusserer Anstoss auslösend wirkt oder die Ursache der Auslösung in dem erblichen Entwicklungsgang des Organismus begründet ist und dem entsprechend in einer bestimmten Entwicklungsphase eintritt. Bei einem inducirten Auslösungsvorgang ist die auslösende Kraft bestimmt und im günstigen Falle wird die Gesammtheit der Molecularprocesse zu verfolgen sein, welche sich an die Auslösung und ihren Verlauf knüpfen, eine autonome Auslösung hingegen, in dem erblichen Entwicklungs- und Bildungsgang begründet, würde nur mit und nach causaler Erklärung dieses specifischen Entwicklungsganges auf ihre erste Ursache zurückgeführt werden können. Damit ist nicht ausgeschlossen, dass eine bestimmte Kette von einander abhängiger Vorgänge des Stoffwechsels und Kraftwechsels rückwärts auf einen bestimmten Ausgangspunkt verfolgt werden kann, welcher sich dann allerdings dieser Kette von Vorgängen gegenüber auslösend verhält, aber selbst nur das Glied (z. B. ein chemisches Product) einer Reihe von Molecularprocessen ist, welche von erblichen und unerklärten Eigenschaften des Organismus abhängen. In welcher Lage diesen erblichen Eigenschaften gegenüber die experimentelle Forschung sich befindet, brauche ich nicht zu entwickeln, indem ich auf die von Sachs gegebene klare Darlegung verweisen kann.

Jede Auslösung erfordert unter allen Umständen eine gewisse dynamische Leistung, aber es liegt im Begriff der Auslösung, dass nicht einfach eine gewisse Summe von lebendiger Kraft übertragen, sondern dass Spannkraft in Action gesetzt wird und zwischen dem Arbeitsmaass dieser so actuell werdenden Energie und dem der auslösenden Kraft muss ein aequivalentes Verhältniss nicht bestehen. So ist z. B. das mechanische Aequivalent der auslösenden Kraft im Vergleich zur ausgelösten Kraft verschwindend gering, wenn durch einen Funken eine grosse Pulvermasse entzündet wird, aber auch für den umgekehrten Fall sind Beispiele leicht zu finden.

An den ersten Auslösungsvorgang kann sich unter gegebenen Bedingungen eine ganze Kette von Vorgängen knüpfen, indem der voraus-

1) Siehe Sachs, l. c., p. 744.

Digitized by Google

gehende Process immer den folgenden bedingt, sei es nun, dass wieder ein Auslösungsvorgang, oder eine einfache Uebertragung von Energie von einem Massentheilchen auf ein anderes, die consecutiven Glieder verknüpft. Es wird sich aber auch der Verlauf einer Reaction in zwei getrennt nebeneinander fortschreitende, vielleicht auch in ferneren Gliedern sich wieder unterstützende oder bedingende Processe spalten können, wenn z. B. die Producte eines bestimmten Vorganges nach zwei verschiedenen Seiten auslösend oder übertragend wirken. Solche complicirte Ketten spielen in der lebenden Zelle zweifellos eine Rolle und hier wird ausserdem die Gliederung der Zelle Veranlassung werden können, um die auf einen Auslösungsvorgang folgende Reihe von Stoffwechsel und Kraftwechsel noch verwickelter zu gestalten. So ist es ja z. B. denkbar, dass in dem Zellsaft das erste Glied einer Kette von Processen seinen Anfang nimmt, welche in jenem in einer bestimmten Richtung verlaufen, während, durch Uebertritt eines, von einem Gliede dieser Processe derivirenden Stoffes in das Protoplasma, auch in diesem eine Auslösung erregt wird, welche wieder in verwickelter Weise sich abspielt und endlich kommt dann vielleicht noch der mit dem Wachsthum variable Widerstand der Zellhaut als mitspielender Factor in Betracht.

Bei Beurtheilung der äusserlich wahrnehmbaren Leistungen der Zelle ist wohl zu beachten, dass nur die Resultante des gesammten Kraftwechsels zum Ausdruck kommt, welche natürlich eventuell bei zwei Objecten in gerade entgegengesetztem Sinne ausfallen kann, wenn die Einzelleistungen wohl in qualitativer, nicht aber in quantitativer Hinsicht übereinstimmen. So gut, wie ein Körper, welcher von zwei oder mehreren Kräften gezogen wird, sich nach der einen oder anderen Seite bewegen kann, je nachdem die mit der Intensität der Kräfte variable Resultante ausfällt, so gut können z. B. auch die bei positivem und negativem Heliotropismus oder Geotropismus durch Licht oder Schwerkraft ausgelösten Vorgänge der Qualität nach identisch sein, wenn nur die Resultante der wirksamen dynamischen Leistungen bei dem einen Objecte nach der positiven, bei dem anderen Objecte nach der negativen Seite der Abscissenachse gerichtet ist. Die einfache Thatsache, dass zwei verschiedene Objecte, bei gleicher auslösender Kraft, sich nach entgegengesetzter Richtung krümmen, kann unter allen Umständen nicht darüber entscheiden, ob die ausgelösten Vorgänge nur quantitativ differiren oder ob qualitativ verschiedene Processe ausgelöst wurden.

Dieselbe Zelle wird aber mit der Zeit möglicherweise ihre specifischen

Digitized by Google

Eigenschaften derart ändern, dass zwei ungleiche Entwicklungsphasen gegen dieselbe auslösende Kraft sich in ganz analoger Weise verhalten, wie zwei von Haus aus verschiedene Objecte, so dass das, was hinsichtlich dieser soeben gesagt wurde, auch den Maassstab zur Beurtheilung der Leistungen derselben Zelle in verschiedenen Entwicklungsstadien abgibt. Dass zeitlich differentes Verhalten ins Auge gefasst werden muss, zeigt u. a. die geotropische Krümmung, welche bei manchen Pflanzen in verschiedenen Entwicklungsphasen in gerade entgegengesetztem Sinne für dasselbe Organ ausfällt. Auch daran mag hier noch erinnert werden, dass an demselben Object die ausgelöste Gesammtleistung mit der Intensität der auslösenden Kraft verschieden ausfallen könnte, z. B. dann, wenn der eine Auslösungsvorgang in Folge eines jeden Anstosses zu Ende geführt wird, während ein anderer Auslösungsvorgang nur nach Maassgabe des mechanischen Aequivalents der auslösenden Kraft stattfindet und also mit dieser steigt.

Wie verwickelt sich die Beziehungen zwischen auslösenden und ausgelösten Kräften gestalten können, dieses zu zeigen war der Zweck obiger Auseinandersetzungen, welche sachgemäss nicht alle Möglichkeiten erschöpfen, sondern nur gewisse principiell wichtige Gesichtspunkte andeuten sollten. In concreten Fällen muss es Sache des Forschers sein, Fragestellung und Experiment den Verhältnissen zu accomodiren[1]). In Gewebecomplexen sind mit und durch den Verband der Zellen Widerstände und Dehnungen und überhaupt Factoren eingeführt, welche für die Resultante des Kraftwechsels in der einzelnen Zelle wesentlich in Betracht kommen können. Um aber die Gesammtleistung eines Organes erklären zu wollen, muss nothwendig auch der ganz wesentliche Factor, die Leistung der isolirt gedachten Zelle aufgeschlossen werden. Hier, wie auch für eine an sich freie Zelle, wird ein Vorgang bis zu einem gewissen Grade natürlich auch dann causal erklärbar sein, wenn nicht gerade alle Processe bekannt sind, welche sich von der Auslösung ab bis zu der zu erklärenden Leistung abspielten.

Die Zellmechanik ist in keinem Falle für Dehnungs- und Wachsthumsvorgänge so weit sicher gestellt, wie für die durch eine Erschütterung an gewissen Objecten ausgelöste Reizbewegung, denn in allen

1) Den Fall, dass gleichzeitig zwei auslösende Kräfte wirken, hatte ich nicht nöthig speciell hervorzuheben. Auch ist nicht besonders bemerkt, dass Kraftwechsel auf Stoffwechsel influiren kann und umgekehrt.

Digitized by Google

anderen Fällen ist noch nicht definitiv entschieden, in wie weit Druck des Zellinhaltes und Widerstandsfähigkeit der Membran die massgebenden Factoren sind. Speciell für die von Beleuchtungsdifferenz (oder auch Temperaturschwankungen) abhängigen periodischen Bewegungen ist die Sachlage wesentlich noch so, wie ich sie bei anderer Gelegenheit darstellte[1]), wenn auch jetzt methodische Wege eröffnet sind, welche wohl eine gewisse Entscheidung der Frage ermöglichen dürften. Wenn sich z. B. zeigen lässt, dass bei einer Variationsbewegung der von der Zellhaut auf den Inhalt ausgeübte Druck sich während einer angestrebten Bewegung nicht ändert, so ist damit rückhaltslos die Ursache der Druckschwankung in den Zellinhalt verlegt und u. a. würden in dieser Hinsicht auch Controle der Volumverhältnisse von Protoplasma und Zellsaft entscheidend sein können. Ob diese und andere Methoden ausführbar sind, das wird namentlich auch davon abhängen, ob sich geeignete Versuchsobjecte finden lassen.

Nach Wahrscheinlichkeitsgründen, welche ich hier nicht reproduciren und erweitern will, wird so leicht Niemand daran zweifeln, dass die mechanische Ursache der periodischen Bewegungen in Druckschwankungen beruht, welche im Zellinhalt durch Licht oder Wärme ausgelöst werden und zwar sowohl da, wo es sich nur um Dehnung elastischer Membranen, als auch da, wo es sich um Wachsthum der Zellhaut handelt. Gilt dieses für periodische Bewegungen von Blattorganen, so wird wohl die gleiche Ursache auch den Schwankungen des Längenwachsthums zu Grunde liegen, welche durch gleiche äussere Verhältnisse bedingt sind. Ohne Frage ist ja, wie Sachs zuerst nachdrücklich hervorhob, die Grösse des Turgors ein wesentlicher Factor für die Ausgiebigkeit des Flächenwachsthums der Membran, welches natürlich auch von Widerstandsfähigkeit der Zellhaut, vom Wachsthumsmaterial, von der Leichtigkeit, mit welcher neue Zellhautmolecüle eingelagert werden und noch anderen Umständen abhängt. So resultirt die sog. grosse Periode des Wachsens ohne Frage aus den eben genannten und aus anderen Verhältnissen.

Ist auch über die Art und den Verlauf der durch Licht oder Wärme ausgelösten Vorgänge noch nichts näheres bekannt, so zeigen doch gewisse Beobachtungen, dass es sich jedenfalls nicht immer um einen ganz einfachen Process handelt. So habe ich z. B. für die durch Verdunklung inducirten Variationsbewegungen gezeigt, wie die Ausdehnungskraft der Zellen ein Maximum erreicht, um dann wieder nicht

1) Pfeffer, Die periodischen Bewegungen 1875, p. 113 ff.

Digitized by Google

unerheblich zurückzugehen [1]). Irgendwie muss hier eine Wirkung eine andere Wirkung wieder partiell aufheben, sei es nun, dass dieses in dem zeitlichen Verlauf einer Kette von Processen bedingt ist, welche von dem Auslösungsvorgang ab, einer nach dem andern sich abspielen, oder dass von vornherein durch die Verdunklung zwei ungleich schnell verlaufende Auslösungen hervorgerufen werden, oder dass eine andere Verwicklung zu Grunde liegt. Ebenso zeigt u. a. auch das Verhalten der Crocusblüthen bei plötzlichem Temperaturabfall eine complicirte Reaction an [2]). Denn der Temperaturabfall ruft vorübergehend eine sehr ansehnliche Beschleunigung des Wachsthums hervor, während thatsächlich bei constanter niederer Temperatur das Wachsthum langsamer verläuft, als bei höherer Temperatur und dem entsprechend mit der niedereren Temperatur eine Hemmung des Wachsthums eintreten muss. Natürlich wird hier auch Widerstand [3]) und Wachsthum der Zellhaut eine Rolle spielen können.

So wenig wie die eben erwähnten und andere Vorgänge, lassen sich die Nachwirkungsbewegungen, welche auf eine durch Verdunklung inducirte Bewegung folgen, aus ihren Factoren erklären [4]). Die Ursache dieser Nachwirkungen haben wir aber in analogen Principien zu suchen, aus denen ein Pendel nachschwingt oder eine Function aus mehreren Variablen in der graphischen Darstellung eine periodische Curve geben kann.

23. Heliotropismus und Geotropismus.

Heliotropismus und Geotropismus zeigen, wie eine einseitig angreifende Kraft convexe oder concave Krümmung gegen die auslösende Kraft hin bewirken kann. Analoge Erscheinungen werden voraussichtlich allgemeiner durch entsprechenden Angriff einer auslösenden Wirkung erzielt werden und u. a. können Ablenkung von Wurzeln durch Feuchtigkeit und der Erfolg eines dauernden Contactes an gewissen Objecten als solche Phänomene genannt werden.

---

1) Pfeffer, Periodische Bewegungen p. 93.

2) Ebenda p. 132.

3) Ueber die Ausdehnung und Dehnbarkeit von Körpern bei verschiedenen Temperaturen vgl. u. a. die allgemeinen Entwicklungen bei Clausius (Mechan. Wärmetheorie 1876, p. 199). Speciell hinsichtlich des auffallenden Verhaltens von Kautschuk s. auch Pfaundler in Poggendorff's Annal. 1874, Bd. 153, p. 62).

4) Pfeffer, l. c., p. 39.

Digitized by Google

Wir wollen nun den Heliotropismus mit Rücksicht auf Zellmechanik beleuchten. Ich erinnere hier zunächst daran, dass in gewissen Objecten die Ausdehnungskraft der Zellen mit steigender Helligkeit abnimmt, indem wahrscheinlichst der Turgor sinkt, wie wir hier ruhig annehmen werden. Bei einseitiger Beleuchtung muss dann gegen die Schattenseite hin der Turgor in den Zellen zunehmen und eine positiv heliotropische Krümmung des Gewebecomplexes ist die nothwendige Folge, wenn nicht andere Hindernisse im Wege stehen. Der positive Heliotropismus einzelliger Objecte kann aber auf solche Weise nicht entstehen und so müssen wir zwei Arten des positiven Heliotropismus unterscheiden [1], nämlich den Heliotropismus durch graduell abnehmenden Zellturgor, welcher nur in Zellcomplexen möglich ist und den Heliotropismus einzelliger Organe, welcher wahrscheinlichst durch Einfluss des Lichtes auf die Zellhaut zu Stande kommt. Es ist dabei möglich, dass in einem Gewebe beide Arten positiv heliotropischer Krümmung vereint sind, indem nebenbei jede einzelne Zelle bestrebt ist, sich aus gleichen Ursachen zu krümmen, wie einzellige Organe. Deshalb ist eine Unterscheidung natürlich doch geboten, und wir werden von einem positiven Heliotropismus der Gewebe und einem positiven Heliotropismus der Zelle sprechen. Beiden ist vorläufig nur gemeinsam, dass dieselbe Kraft auslöst, ob noch weitere Beziehungen im Verlaufe der ausgelösten Vorgänge bestehen, kann nur mit Kenntniss dieser entschieden werden. Ueber negativ heliotropische Krümmung liegt nichts vor, was auf einen Unterschied zwischen Heliotropismus von Gewebecomplexen und von einzelligen Objecten bestimmt hinwiese; das Längenwachsthum der negativ heliotropischen Organe wird, soweit bekannt, durch Licht in analoger Weise verlangsamt, wie das Wachsthum positiv heliotropischer Organe [2]. Heliotropismus ohne Wachsthum [3], d. h. durch einfache rückgängig zu machende Dehnung elastischer Zellhäute, ist nur als positiver Heliotropismus vielzelliger Organe bekannt, es ist aber bei unserer Unbekanntschaft mit den mechanischen Ursachen heliotropischer Krümmung nicht zu sagen, ob solcher Heliotropismus anderweitig möglich ist oder nicht.

In einzelligen Objecten kann zwar, wie aus bekannten Thatsachen folgt, ein abwechselnd sinkender und steigender Turgor die mechanische Ursache des Heliotropismus nicht sein, wohl aber wird eine solche Schwankung des hydrostatischen Druckes einen gewissen Einfluss auf

1) Siehe Pfeffer, Periodische Bewegungen 1875, p. 63.
2) H. Müller, Flora 1876, p. 13.
3) Pfeffer, l. c., p. 63.

Digitized by Google

die Ausgiebigkeit der Krümmung haben können. Gesetzt es seien die beiden Längshälften der Membran eines cylindrischen Schlauches ungleich dehnbar, so wird sich ein gerader Schlauch mit steigendem Turgor concav nach der weniger dehnbaren Membranhälfte krümmen, ein zuvor concav nach der dehnbarern Längshälfte gebogener Schlauch aber natürlich seine Krümmung mehr oder weniger ausgleichen. Bei vollkommener Elasticität der Membran würde dann mit dem oscillirenden Turgor, je nach der Vertheilung der Dehnbarkeit, entweder eine ebene oder eine gekrümmte Fläche von dem sich hin und her bewegenden Schlauche beschrieben werden. Weiter muss beachtet werden, dass bei vollkommen gleicher Dehnbarkeit und Elasticität der Wandung die Krümmung eines Schlauches mit zunehmendem hydrostatischen Druck im Innern vermindert werden muss, ein Vorgang, der dem Princip von Bourdon's Federmanometer zu Grunde liegt [1]). Vermehrte Dehnung ruft aber an wachsenden Zellhäuten eine Steigerung des Wachsthums hervor und so muss steigender Turgor eine gewisse Ausgleichung der Krümmung einer Zelle anstreben. Ausserdem wird die Schwankung des hydrostatischen Druckes in wachsenden Zellen die Ausgiebigkeit von Krümmungen und oscillirenden Bewegungen der Zelle beeinflussen können, wenn Bedingungen zu solchen Bewegungen in der zeitlichen Vertheilung der Widerstandsfähigkeit und der Wachsthumsfähigkeit der Zellhaut gegeben sind [2]).

Aus obigem ergibt sich von selbst, wie Abnahme und Steigerung des hydrostatischen Druckes in einer Zelle für positiven und negativen Heliotropismus in Betracht kommt. Ursache der heliotropischen Krümmung einzelliger Objecte kann der schwankende Turgor nicht sein, denn dann müsste ja schon allseitige Helligkeitsabnahme eine Krümmung hervorrufen, welche, ebenso wie der Modus der Krümmung, nur durch einseitige Beleuchtung bestimmt wird.

Stärkere Dehnung und dieser entsprechend stärkeres Wachsthum einer Längshälfte der Zellhaut könnte auch vom Protoplasmakörper ausgehen, welcher ja thatsächlich vermöge seiner Structur gewisse, aber freilich nur geringe einseitige Druckwirkung ausüben kann. Allerdings würde schon ein geringer dauernder Dehnungsüberschuss in einer Längshälfte der Membran mit der Zeit eine erhebliche Krümmung einer Zelle herbeiführen können, wenn eben durch diese geringe, aber fort-

1) Auf diesem Princip beruht Bourdon's Aneroidbarometer und Fick's Federkymographion.

2) Es ist solches auch als mögliche Ursache der Bewegungen von Oscillarien u. s. w. ins Auge zu fassen.

Digitized by Google

dauernde Mehrdehnung das Wachsthum der fraglichen Membranhälfte fortwährend etwas beschleunigt wäre [1]). Aber schon ein geringer Gegendruck würde dann ausreichen, um die Krümmung aufzuhalten, weil ja der wasserreiche Protoplasmakörper nach unseren früheren Erwägungen nur geringe einseitige Druckkraft ausüben kann.

Mit welcher Kraft heliotropische Krümmungen einzelliger Objecte ausgeführt werden ist noch nicht bekannt, doch habe ich beobachtet, wie durch die positiv heliotropische Krümmung der Internodien einer Nitella ein verhältnissmässig erheblicher Druck überwunden wurde, welchen die Spitze der Pflanze vor sich herzuschieben hatte, ohne dass die sich krümmenden Internodien in Contact mit dem festen Körper kamen. Wenn ich nun auch die Grösse des Druckes nicht angeben kann, so war dieser doch jedenfalls viel zu erheblich, um ihn auf ein entsprechendes Ausdehnungsstreben des Protoplasmakörpers schieben zu können und so muss ich die an sich unwahrscheinliche Annahme zurückweisen, dass eine ungleiche Ausdehnungskraft des Protoplasmakörpers die mechanische Ursache der heliotropischen Krümmung einzelliger Objecte ist. Dann muss aber in ungleichem Widerstand oder Wachsthum der Zellhaut die Ursache heliotropischer Krümmung gesucht werden. Knüpfen sich unsere Erwägungen und Argumente auch nur an positiven Heliotropismus, so zweifle ich doch nicht daran, dass sie für negativen Heliotropismus in gleicher Weise ausfallen, d. h. in die Zellhaut die Ursache verlegen würden. Um dieses absolut sicher zu stellen, bedarf es freilich für beide Arten von Heliotropismus einzelliger Objecte noch entscheidender Versuche.

Sollte nun thatsächlich positiver und negativer Heliotropismus zunächst von Molecularprocessen innerhalb der Zellhaut abhängen, dann muss dieselbe und in derselben Richtung wirkende auslösende Kraft, das Licht, gerade entgegengesetzte sichtbare Leistungen auslösen. Dieses ist aber da, wo es sich um mehrere variable Factoren handelt, wie vorhin hervorgehoben wurde, schon möglich, wenn die ausgelösten Processe wohl ihrer Qualität, aber nicht ihrem Arbeitsmaasse nach übereinstimmen und ich will nochmals nachdrücklich hervorheben, dass solche in entgegengesetzter Richtung stattfindenden Bewegungen, auf Grund dieser habituellen Erscheinung allein, nun und nimmer darüber eine Entscheidung zulassen, ob sie Resultante aus qualitativ oder nur quantitativ verschiedenen Leistungen sind. Ein Urtheil über diese Frage ist aus dem über Heliotropismus Bekannten nicht zu gewinnen.

---

1) Vgl. Pfeffer, Periodische Bewegungen p. 146.

Digitized by Google

Das Wachsthum setzt sich immer aus einer gewissen Zahl von Factoren zusammen. Als nächste Factoren werden wir im allgemeinen Zufuhr geeigneten Materiales und Verwendung dieses zur Einlagerung neuer Zellhauttheilchen bezeichnen können, Factoren, welche aber selbst schon Resultante einer ganzen Reihe näherer und fernerer Bedingungen sind. Wie nun einseitige Beleuchtung auslösend wirkt, um das Flächenwachsthum der Zellhaut in einem Falle auf der beleuchteten, im andern Falle auf der beschatteten Seite relativ ausgiebiger zu machen, darüber wissen wir zur Zeit nichts. Man könnte hier geltend machen, dass Beleuchtung die Verdickung von Zellhäuten zu begünstigen scheint[1]), wodurch dann das Flächenwachsthum der Zellhaut vermindert würde, weil dieses wesentlich von der Grösse der Dehnung abhängt. Anderseits ist aber auch bekannt, dass Beleuchtung, in freilich noch unbekannter Weise, das Wachsthum in gewissen Objecten befördern kann[2]) und so ständen sich zwei in entgegengesetztem Sinne thätige Factoren gegenüber, welche, wenn sie in zwei verschiedenen Zellen in ungleicher Relation ausgelöst würden, eine positive und negative Krümmung wohl veranlassen könnten. Damit will ich nicht eine Hypothese aufstellen, sondern nur an einem Beispiel zeigen, dass sich Angriffspunkte schon finden lassen, um nach den mechanischen Ursachen des entgegengesetzten Heliotropismus experimentell forschen zu können. Die einseitige Beleuchtung wird möglicherweise auch auf den Protoplasmakörper derart wirken, dass die durch diesen vermittelten Wachsthumsbedingungen auf Licht- und Schattenseite der Zelle ungleich vertheilt sind[3]). Einzellige Objecte, welche heliotropische Krümmungen ohne Membranwachsthum ausführen, sind nicht bekannt; wenn sie existiren sollten, so würden sie aber für die Aufklärung der Ursachen des Heliotropismus von unberechenbarem Werthe sein.

Wenn der positive Heliotropismus gewisser Pflanzen mit weiterer Entwicklung einem negativen Heliotropismus Platz macht, so hat die wirkende Resultante jedenfalls einen Umschwung erfahren, sei es nun, dass sich mit fortschreitender Entwicklung des Organes das Verhältniss zwischen den im positiven und negativen Sinne wirkenden Leistungen

---

1) Vgl. Kraus, Jahrb. f. wiss. Botanik 1869—70, Bd. VII, p. 232.

2) So kommen die Sporen mancher Gewächse und die Brutknospen von Marchantia im Dunklen nicht zur Weiterentwicklung. Auch ist zu erwähnen, dass die Samenlappen mancher Pflanzen im Dunklen nicht weiter wachsen, obgleich sie mit Nährstoffen gefüllt sind.

3) Bewegungen des Protoplasmas, welche durch einseitige Beleuchtung veranlasst werden, sind ja bekannt. Siehe Sachs, Lehrbuch IV. Aufl., p. 721.

Digitized by Google

ändert oder dass eine Leistung neu hinzutritt. Die erblichen Eigenschaften der Pflanze bestimmen den Ort, an welchem der negative Heliotropismus sichtbar beginnt und dieses wird nach dem Gesagten sowohl in der schnellst wachsenden, als auch in einer langsam wachsenden Zone eintreten können. Deshalb kann ich aber auch die Unterscheidung zweier Arten des negativen Heliotropismus, wie es H. Müller[1]) will, nicht billigen, wenn sie nur auf den Eintritt der negativen Krümmung in verschiedenen Wachsthumszonen basirt ist, eine Erscheinung, die ja als Resultante nothwendig ist, wenn in Organen gleichzeitig zwei Kräfte in entgegengesetztem Sinne wirken, deren Relation in verschiedenen Pflanzen für gleiche Entwicklungstadien eine ungleiche ist[2]). Möglich ist es ja freilich, dass der negative Heliotropismus verschiedener Pflanzen nur der übereinstimmende habituelle Ausdruck für qualitativ ungleiche Vorgänge ist, zur Zeit sind aber keine Thatsachen bekannt, aus welchen dieses zu folgern oder wahrscheinlich zu machen wäre.

Um auslösend zu wirken, muss ein Lichtstrahl jedenfalls eine gewisse, wenn auch vielleicht äusserst geringe Moleculararbeit verrichten und es kann nun die Frage gestellt werden, ob diese dieselbe ist, wenn ein identischer Lichtstrahl unter gleichem Neigungswinkel von aussen oder von innen her, also mit veränderter Reihenfolge in Zellhaut und Protoplasma oder überhaupt an den Ort tritt, wo er auslösend thätig ist. Wenn die Reihenfolge des Eintrittes gleichgültig ist, dann muss die abweichende Wirkung auf der zuvor gleichwerthigen Schattenseite daher rühren, dass hier Licht von gleicher Qualität, aber von anderer Intensität zur Wirkung kommt. Schwächung eines Lichtstrahles ist ja unvermeidlich, wenn dieser auf der beleuchteten Seite einer Zelle eine Arbeit leistet, und auf der Schattenseite wird der Lichtstrahl mit geringerer Intensität (mechanischem Aequivalente) ankommen, wenn nicht der besondere Aufbau der Zelle oder der Organe eine Concentration von Strahlen bewirkt[3]). Falls nun ein Lichtstrahl thatsächlich ungleich ausgiebige Leistungen hervorrufen sollte, wenn er von aussen oder innen her z. B. in die Zellhaut gelangt, so muss gleichfalls zunächst entschieden werden, ob auch in beiden Fällen der Lichtstrahl mit gleicher

---

1) Flora 1876, p. 70 u. 93.

2) Hierher gehören auch Combinationen wie die von heliotropischen und geotropischen Krümmungen, auf welche ich hier und im Folgenden keine Rücksicht genommen habe.

3) Eine solche Annahme liegt einer Hypothese Wolkoff's zu Grunde, welche aber thatsächlich nicht ausreicht, um den entgegengesetzten Heliotropismus zu erklären. — Siehe Sachs, Lehrbuch IV. Aufl., p. 810.

Digitized by Google

Intensität an dem Ort seiner Wirkung ankam, ehe man schlussfolgern dürfte, dass der Lichtstrahl anders wirke, wenn er etwa auf ein Zellhauttheilchen von aussen oder von innen fällt. Weil es sich hier um einen Auslösungsvorgang handelt, kann eine nur geringe Differenz in der Wirkungsfähigkeit des Lichtes vielleicht schon einen gewaltigen Effect bedingen.

Heliotropische Krümmung tritt auch dann ein, wenn ein Lichtstrahl die Vorderwand und Rückwand der Zelle unter gleichem Neigungswinkel trifft, und auf diesen Fall muss nothwendig zunächst die Frage bezogen werden, wie und wann Heliotropismus zu Stande kommt. Wie Längenwachsthum, oder überhaupt das Wachsthum einer Zelle mit dem Neigungswinkel des wirkenden Lichtstrahles verändert wird, ist eine neue Frage, die zuerst durch Vergleich der Wachsthumsvorgänge in einer Zelle entschieden werden muss, in welcher das einemal Lichtstrahlen parallel mit der Längsachse, das anderemal senkrecht gegen diese, aber gleichmässig von allen Seiten, eintreten, denn die Wirkung anders geneigter Lichtstrahlen würde in diese Composanten zu zerlegen sein. Gesetzt aber, parallel oder senkrecht zur Längsachse der Zelle eindringende Lichtstrahlen wirkten thatsächlich wesentlich verschieden auf das Wachsthum der Zelle, so würde damit allein der Heliotropismus selbst doch nicht erklärt sein, während die Bedeutung der Neigung der Lichtstrahlen für Ausgiebigkeit heliotropischer Krümmung vielleicht vollkommen klar gelegt werden könnte.

Diese Auseinandersetzungen schienen mir geboten, da H. Müller's[1]) Ausspruch, es dürfte sich beim Heliotropismus weniger um die Lichtdifferenz als um die Lichtrichtung handeln, die Fragen nicht präcisirt und schon deshalb mehrdeutig ist, weil der Neigungswinkel des Lichtes und die Richtung des Lichtes mit Bezug auf das Eindringen von aussen oder innen nicht auseinandergehalten sind. Eine Entscheidung kann freilich darüber nicht gefällt werden, ob ein Lichtstrahl bei heliotropischen Krümmungen nur vermöge seiner Intensität wirkt, oder ob derselbe Lichtstrahl anders wirkt, wenn er auf Aussenseite oder Innenseite eines Zellhaut- oder Protoplasmatheilchens fällt. Uebrigens hat erstere Alternative die grössere Wahrscheinlichkeit jedenfalls für sich, doch scheint mir eine weitere Discussion über diese Fragen bei der derzeitigen Sachlage überflüssig. Darauf will ich aber noch aufmerksam machen, dass, wenn der Turgor in der Zelle sinkt, eine andere Wirkung eines Lichtstrahles, als vermöge seiner Intensität, nur dann möglich

1) Flora 1876, p. 92.

Digitized by Google

wäre, wenn die nöthige Auslösung durch die Wirkung des Lichtes auf einen nicht flüssigen Körper stattfände.

Wird das Wachsthum verglichen, welches parallel oder senkrecht zur Längsachse der Zelle einfallendes Licht hervorruft, so ist wohl zu beachten, dass hier Ortsveränderungen, wie sie z. B. für Protoplasma bekannt sind, und noch andere Umstände möglicherweise das Wachsthum der Zellhaut in entscheidender Weise beeinflussen. Diese und andere Gesichtspunkte kommen auch für Heliotropismus in Betracht und es ist nicht einmal wahrscheinlich, dass das mittlere Wachsthum sich heliotropisch krümmender und bei gleicher Lichtintensität gerade fortwachsender Organe übereinstimmend ausfällt.

Bis dahin ist sachgemäss ein Lichtstrahl gleicher Qualität vorausgesetzt worden, denn wie Lichtstrahlen ungleicher Wellenlänge und ungleicher Schwingungsebene wirken, sind Fragen für sich, welche natürlich sowohl für den parallel, als den senkrecht zur Zellachse gerichteten Strahl in Betracht kommen. Hinsichtlich des polarisirten Lichtes ist mir nur ein Versuch von Askenasy[1]) bekannt, nach welchem die Fruchtstiele von Pellia und Kressenpflanzen sich in gleicher Weise positiv heliotropisch krümmen, wenn die Schwingungsebene des sie einseitig treffenden Lichtes parallel oder senkrecht zur Längsachse des Objectes steht. Da aber nicht festgestellt ist, ob das polarisirte Licht nicht wieder depolarisirt wurde, so ist dieser Versuch nicht gerade entscheidend, obgleich ich durchaus nicht zweifle, dass Licht jeder Schwingungsebene heliotropische Krümmung hervorruft. Ich glaube, dass man auch nach gewissen Erwägungen, die ich hier nicht darlegen will, erwarten darf, dass ein parallel mit der Längsachse der Zelle eindringender Lichtstrahl unabhängig von seiner Schwingungsebene wirkt.

Bezüglich der Mechanik der geotropischen Krümmungen ergibt sich eine wesentlich analoge Fragestellung, wie für die heliotropischen Bewegungen. Die Existenz des positiven und negativen Geotropismus an einzelligen Objecten und ähnliche Erwägungen wie die beim Heliotropismus angestellten, müssen uns zu dem Schlusse führen, dass der Geotropismus der Zelle zu Stande kommt, indem die Schwerkraft in den gegen die Verticale geneigten Objecten Auslösungen hervorruft, welche das Wachsthum der erdwärts und zenithwärts gewandten Zellhautstücke

1) Botan. Zeitung 1874, p. 237.

Digitized by Google

in ungleichem Maasse, wenn auch vielleicht in nur sehr indirecter Weise, beeinflusst [1]).

In den ohne oder mit Wachsthum sich negativ geotropisch krümmenden Geweben nimmt die Ausdehnungskraft [2]), resp. das Wachsthum der Zellen von der erdwärts gewandten zu der zenithwärts gewandten Seite zu, während bei positivem Geotropismus umgekehrt die oberen Zellen am schnellsten wachsen. Mit der Horizontalstellung muss also zugleich eine Ursache eintreten, welche den Auslösungsvorgang in jeder höheren Zelle anders gestaltet. Doch lasse ich dahin gestellt, ob, analog wie bei positivem Heliotropismus, ein Geotropismus der Zelle und der Gewebe zu unterscheiden sein wird, da die bis jetzt vorliegenden Thatsachen eine solche Unterscheidung nicht unbedingt fordern.

Gegenüber der gewaltigen Ausdehnungskraft, welche manche Objecte bei der negativ geotropischen Krümmung entwickeln können, muss die zur Auslösung nothwendige Arbeitsleistung der Schwerkraft eine verschwindend geringe sein [3]). Wie aber diese Auslösung zu Stande kommt, ob ferner der Auslösungsvorgang bei positivem und negativem

---

1) Traube und nach ihm Andere haben versucht den Geotropismus aus denselben einfachen Ursachen zu erklären, welche gewissem Aufwärtswachsen anorganischer Zellen zu Grunde liegen (Bot. Ztg. 1876, p. 67). Da meines Erachtens eine genügende Bekanntschaft mit den über Geotropismus bekannten Thatsachen sofort zeigen muss, dass diese einfache Erklärung absolut nicht ausreicht, so halte ich es an diesem Orte nicht für geboten, solche Anschauungen speciell zu widerlegen. — Ebenso kann ich hier nicht speciell eingehen auf eine Arbeit von C. Kraus (Flora 1876, Nr. 28), welche ich erst nach Abschluss dieses Manuscriptes erhielt. Die Erklärung der mechanischen Ursache des Geotropismus kommt im wesentlichen darauf hinaus, dass vermehrtes Flächenwachsthum der Zellwände auf der Unterseite eines Organes negativen Geotropismus, gesteigerte Widerstandsfähigkeit, z. B. durch Verdickung der Zellwände auf der Unterseite, positiven Geotropismus erzeugen soll. Neu ist dieser Gedanke überhaupt nicht und der Wissenschaft wird nicht damit gedient, wenn jener kurzweg auf die Behauptung gestützt wird. »Unzweifelhaft ruft die Schwerkraft in einer horizontal gelegten Wurzel eine von oben nach unten zunehmende Concentration der Zellsäfte hervor, ähnlich wie in einer künstlichen Traube'schen Zelle« (l. c., p. 440), denn, dass etwas derartig ohne weiteres »unzweifelhaft« sei, ist einmal ganz und gar falsch und dann ist die Concentration allein noch kein sicherer Maassstab für das Wachsen. Ausserdem gibt es auch negativen Geotropismus ohne Wachsthum und die mächtige dehnende Kraft kann überhaupt nicht in der einfachen Weise zu Stande kommen, welche Ursache des Aufwärtswachsens Traube'scher Zellen ist. Die gründlichen Verirrungen aufzudecken, welche sich C. Kraus in Interpretation der Thatsachen und der physikalischen Auffassung gewisser Phänomene zu Schulden kommen lässt, würde hier zu weit führen.

2) Vgl. das entsprechende Kapitel im Lehrbuch von Sachs und Pfeffer, Period. Bewegungen p. 141.

3) Pfeffer, Period. Bewegungen p. 146.

Digitized by Google

Geotropismus qualitativ identisch ist, oder ob zwei Auslösungsvorgänge im Spiele sind, hierüber und über ähnliche Sachen lässt sich noch nichts bestimmtes sagen [1]). Es liegt freilich nahe daran zu denken, dass der geringe Mehrdruck eine auslösende Rolle spielt, welcher in Zellen und Geweben in tieferen Schichten durch das Gewicht der darüber stehenden Flüssigkeitssäule ausgeübt wird. Vielleicht ist aber die Ablenkung von Wurzeln durch Feuchtigkeit eine Erscheinung, welche auf principiell gleiche Gesichtspunkte bezüglich der Auslösung zurückzuführen ist [2]). Wie man sich dieses vorstellen kann, unterlasse ich auseinanderzusetzen, doch wollte ich auf die möglichen Beziehungen hinweisen, um darauf aufmerksam zu machen, dass jedenfalls zunächst untersucht werden muss, wie sich negativ geotropische Organe und ebenso wie sich einzellige Objecte unter den Feuchtigkeitsbedingungen verhalten, welche die positiv geotropischen Wurzeln zu einer nach der feuchteren Seite hin concaven Ablenkung veranlassen.

Eine weitere Zergliederung der Frage, ob Richtung oder Intensität der Gravitation für Geotropismus in Betracht kommt, will ich hier unterlassen, da sich aus dem bezüglich des Lichtes Gesagten die wesentlichsten Gesichtspunkte ergeben, nach welchen man hier vorzugehen hätte. Uebrigens ist einleuchtend, wie auf zwei, um eine Zellhöhe vertical von einander abstehende Punkte die Gravitation in so annähernd gleicher Weise wirkt, dass nicht in dieser Differenz, sondern in anderen, mit der Schwerkraft zusammenhängenden Vorgängen die Ursache der Auslösung zu suchen ist.

24. Einige Wachsthums- und Gestaltungsvorgänge.

Im Plane dieser Abhandlung kann es nicht liegen, alles zu behandeln, was sich schon zur Zeit über Zellmechanik sagen und vermuthen lässt, doch glaube ich noch einige mit Wachsthumsvorgängen zusammenhängende Punkte berühren zu sollen, welche sich im Vorausgehenden nicht gut einreihen liessen.

---

1) Es könnte hier auch Vertheilung von Körpern unter dem Einfluss der Schwere ins Gewicht fallen. Ob dem Protoplasma bestimmte Bewegungen durch die Schwerkraft inducirt werden, ist für von Zellhaut umkleidete Zellen noch nicht untersucht. Nach Rosanoff (Sachs, Lehrbuch, IV. Aufl., p. 813) sollen freilich die Plasmodien von Aethalium durch die Schwerkraft zu aufsteigender Bewegung veranlasst werden, doch muss dieses jedenfalls sorgfältig nachuntersucht werden, da das, was ich bei Aethalium gesehen habe, eine andere Deutung als Beeinflussung durch Schwerkraft zulässt.

2) Sachs, Arbeiten des Würzburger Instituts 1872, Heft 2, p. 219.

Digitized by Google

Ist ein gewisser osmotischer Ueberdruck in der Zelle vorhanden, so muss die die äussere Umkleidung des Protoplasmakörpers bildende Plasmamembran nothwendig der Zellhaut angepresst sein und die Eigenschaften dieser Plasmamembran, wie überhaupt des Protoplasmakörpers bringen es mit sich, dass auch die feinsten Tüpfelräume in der Zellhaut ausgekleidet werden können [1]). Der osmotische Druck sucht nun die Zellhaut in die Fläche zu dehnen und wirkt ausserdem zusammenpressend in transversaler Richtung, wenn die Zellhaut oder gewisse Schichten dieser auf einer Widerlage ruhen. Denn wenn dieses der Fall ist wird ja die Zellhaut, resp. ein innerer Theil dieser, in analoger Weise zusammengepresst, wie eine in ein Tuch eingeschlagene und in eine Presse gebrachte quellungsfähige Masse, die so lange Wasser abgibt bis der äussere Druck nicht mehr im Stande ist, das mit grösserer Kraft zurückgehaltene Quellungswasser herauszupressen.

Meist wird die auf solche Weise erzielte Verminderung der Dicke der Zellhaut nur sehr gering sein, doch muss diese Verminderung dann erheblich werden, wenn Zellhaut zwar ihr Volumen durch Quellung ansehnlich vergrössert, aber die Quellungsflüssigkeit nur mit solcher Kraft festhält, dass ein gegebener osmotischer Druck eine grössere Menge herauspressen kann. So ist es offenbar bei gewissen Algenfäden, deren Zellhaut in Zuckerlösung oder nach Tödtung der Zelle, also überhaupt nach Aufhebung des Turgors bis auf das Doppelte der ursprünglichen Dicke anschwellen kann, ohne dass sich die Längendimension beachtenswerth verändert [2]). Hier bilden die äusseren widerstandsfähigen und wenig dehnbaren Schichten der Zellhaut die Widerlage, gegen welche die inneren aufquellenden Zellhautschichten durch die Plasmamembran, resp. den osmotischen Druck gepresst werden. Analoge Erscheinungen werden sich zweifellos in Mehrzahl finden lassen, wenn man sein Augenmerk auf Objecte richtet, bei welchen Zellhaut in quellungsfähige Massen verwandelt wird. Aber auch da, wo Aenderungen des Durchmessers an der Zellhaut nicht merklich sind, darf doch die erwähnte Zusammenpressung nicht ausser Acht gelassen werden, da sowohl der jedenfalls ein klein wenig verminderte Wassergehalt, wie auch der Druck selbst, bei Wachsthum und bei anderen Vorgängen eine Rolle spielen könnte.

---

1) Niederschlagsmembranen werden durch die Maschen sehr dichter Gewebe selbst bei sehr geringem Drucke durchgepresst und wachsen auf der anderen Seite als Blasen hervor (vgl. p. 4). Es erinnert dieser Vorgang lebhaft an die Art und Weise wie Tüllen entstehen.

2) Nägeli und Schwendener, Mikroskop 1867, p. 406.

Digitized by Google

Die mechanischen Ursachen der Neubildung und des Wachsthums von Zellhaut können in allseitig zufriedenstellender Weise noch nicht erklärt werden. Bei Neubildung einer Membran um einen Protoplasmakörper muss das in gelöster Form aus der Plasmamembran hervortretende Membranbildungsmaterial unlöslich ausgeschieden werden. Es liegt hier die Vermuthung nahe, dass in der Berührung mit wässriger Flüssigkeit, mit Luft oder überhaupt mit einem anderen Medium die Ursache für Zersetzung der Lösung des Membranbildners und die Entstehung der Zellhaut zu suchen sei, sowohl da wo sich Zellhaut um einen frei in Wasser liegenden Protoplasmakörper, als auch da wo sie bei Zelltheilung zwischen zwei zuvor gesonderten Protoplasmakörpern entsteht[1]). Doch sind auch andere Ursachen denkbar, welche eine Ausscheidung des Membranbildners aus der diosmirenden Lösung bewirken könnten, auf deren Erörterung ich indess nicht eingehe, da thatsächlich keine bestimmten Anhaltspunkte über die mechanische Ursache der Zellhautbildung vorliegen.

Hinsichtlich der Wachsthumsursachen der Zellhaut in Fläche und Dicke sind keine wirklich principiell neuen Gesichtspunkte zu denen gekommen, welche Nägeli in seinen unvergleichlich scharfsinnigen Untersuchungen und Folgerungen über das Wachsthum der Stärkekörner erschloss und an deren Hand er auch das Wachsthum der Zellhaut beleuchtete[2]. Auch negative Spannung der Zellhaut hat Nägeli als eine Wachsthumsursache sehr wohl erkannt, aber freilich der Dehnung der Membran durch Turgor nicht die hohe Bedeutung für das Flächenwachsthum der Membran beigelegt, welche Sachs[3]) mit Recht dafür in Anspruch nahm. So wichtig es an sich war, die hohe Rolle hervorzuheben, welche der Turgor vermöge der Dehnung der Membran bei dem Flächenwachsthum dieser spielt, so ist damit keine principiell neue Wachsthumsursache eingeführt worden und solches ist auch nicht durch Traube geschehen, welcher mit der wichtigen Entdeckung seiner Niederschlagsmembranen allerdings einige Wachsthumsursachen und Wachsthumsvorgänge augenfällig demonstriren konnte. Ohne weiteres

---

1) Reinke (Bot. Zeitung 1876, p. 435) behauptet, Grundbedingung für Bildung und Wachsthum einer Niederschlagsmembran sei das Zusammentreffen zweier gelöster Membranogene, resp. die Existenz dieser zu beiden Seiten einer Membran. Traube hat aber schon in seiner ersten Arbeit (1867) gezeigt, wie auch Körper sich in reinem Wasser mit einer Niederschlagsmembran umkleiden können (vgl. diese Abhandlung p. 133). — Uebrigens bedarf die Zellhautbildung in ihrer Beziehung zum Protoplasmakörper einer erneuten Untersuchung.

2) Nägeli, Die Stärkekörner 1858, p. 328 ff, p. 370 u. s. w.

3) Lehrbuch III. Aufl. p. 699.

Digitized by Google

folgt aber aus diesen Wachsthumserscheinungen an Niederschlagsmembranen noch nicht, dass auch die Zellhaut nur aus gleichen Gründen wächst. So sehr z. B. auch mit sinkendem Turgor das Flächenwachsthum der Membranen verlangsamt wird, so ist doch auch heute noch fraglich, ob nicht in gewissen Fällen Membranen ohne passive Dehnung in die Fläche wachsen, indem etwa die Einlagerung neuer Membrantheilchen durch andere in der Membran wirksame Molecularwirkungen herbeigeführt wird. Ein derartiger Wachsthumsvorgang ist ja ohnehin erforderlich, um die Membran in die Dicke wachsen zu machen, denn die transversale Zusammenpressung durch den variablen osmotischen Druck kann nicht Ursache des Dickenwachsthums sein, wenn dieses auch in etwas durch diese Pressung beeinflusst werden muss.

Eine weitere Discussion über die Wachsthumsursachen der Zellhaut liegt übrigens nicht in meiner Absicht und obiges wurde nur geschrieben, um daran zu erinnern, dass, wie von Nägeli vor nun fast 20 Jahren schon dargethan wurde, eine ganze Reihe von Factoren als Ursache des Wachsthums in Betracht kommen. Unter diesen Factoren sind auch diejenigen von Nägeli hervorgehoben, welche allein von Traube als Wachsthumsursachen genannt werden, nämlich Vorhandensein der Membranbildner und negative Spannung. Dass diese für sich und in ihren Combinationen aber nicht ausreichen, um das specifische Wachsthum von Zellhäuten zu erklären, wird eine ruhige Reflexion an der Hand bekannter Thatsachen leicht zeigen können [1]).

Zu den Factoren, welche für Wachsthum der Zellhaut und der Zelle überhaupt in Betracht kommen werden, gehören auch Entstehung und Vertheilung der das Wachsthum vermittelnden Stoffe. In Folge der besonderen Gestaltung solcher Vorgänge wird sowohl der Kraftwechsel

1) Wenn ähnliche Gestaltung anorganischer und lebender Zellen kurzweg herbeigezogen wird, um die specifischen Wachsthumsvorgänge im Organismus damit erklären zu wollen, so kehrt hier im wesentlichen nur wieder, was in verflossenen Jahrhunderten schon da war, als die Alchymisten die sog. metallischen Bäume anstaunten, welche theilweise ja auch anorganische Zellen waren. (Vgl. p. 13, auch z. B. Wiegleb, Geschichte des Wachsthums und der Erfindungen in d. Chemie 1790, I, p. 130 u. s. w.) Wie über die Bestrebungen der Alchymisten, wird die Geschichte auch über analoge Bestrebungen unserer Tage urtheilen. — Natürlich ist es durchaus correct, wenn einzelne maassgebende Factoren aus dem Verhalten anorganischer Zellen demonstrirt werden, wie solches von Traube geschah.

Digitized by Google

durch den Stoffwechsel, als auch dieser durch jenen in vielfacher Weise beeinflusst werden können. Hier will ich indess solche Wechselbeziehungen nicht ausmalen, sondern nur auf einige mögliche Ursachen für Ortsveränderungen im Protoplasmakörper hinweisen. Dass solche, wie z. B. die Ansammlung des Protoplasmas an bestimmten Stellen, eine Rolle bei Wachsthums- und Auslösungsvorgängen spielen, wird wohl eher wahrscheinlich, als unwahrscheinlich erscheinen. Wie die Sache zur Zeit liegt, kann in Folgendem nur auf einige bisher nicht oder ungenügend beachtete Ursachen aufmerksam gemacht werden, welche möglicherweise bei sichtbaren Gestaltungsvorgängen im Protoplasma in Betracht kommen.

Bis jetzt ist nicht viel darüber bekannt, wie äussere Einflüsse auf Gestaltung im Protoplasma influiren. Licht kann gewisse Bewegungsvorgänge, höhere und niedere Temperaturen, sowie gewisse chemische Reagentien können gestaltliche Aenderungen hervorrufen und es scheint wahrscheinlich, dass auch andere Agentien, wie Schwerkraft[1]), Elektricität u. s. w. wirksam eingreifen, namentlich auch bei einseitigem Angriff Bewegungen im Protoplasma nach bestimmter Richtung hervorrufen. Hat z. B. der Zellsaft ein geringeres specifisches Gewicht als das Protoplasma, so muss er auf dieses vertical aufwärts einen entsprechenden Druck ausüben und von der Intensität dieses, im Verhältniss zu entgegenstehenden Widerständen, wird es abhängen, ob ein sichtbarer Effect auf diese Weise zu Stande kommt. Ebenso muss selbstverständlich die Schwerkraft bestrebt sein ungelöste Körper nach Maassgabe des specifischen Gewichtes zu sondern[2]).

Ausser diesen und anderen Bewegungsursachen glaube ich die Aufmerksamkeit noch besonders auf Vorgänge lenken zu sollen, welche durch chemische Actionen wohl zu Stande kommen könnten.

Findet in einer Lösung an irgend einem Punkte eine Zersetzung des gelösten Körpers statt, so ist eine Diffusionsbewegung gewiss, aber auch Massenbewegung kann entstehen, wenn der unzersetzte Körper und seine Zersetzungsproducte, wie ja das gewöhnlich der Fall ist, nicht dasselbe Volumen einnehmen und um die Sache möglichst einfach zu machen, kann man sich ja einmal vorstellen, es werde Wasser abgespalten, resp. unter Verdichtung in chemische Verbindung übergeführt. Diffusionsströmung und Massenbewegung halten so lange an, als chemische Zersetzung sie erzeugt und können mit dieser dauernd

1) Hinsichtlich der Angaben Rosanoff's vgl. diese Abhandlung p. 216.
2) Nägeli u. Schwendener, Mikroskop 1867, p. 381.

Digitized by Google

werden. Letzteres ist aber selbst bei nur geringem Materiale möglich, wenn die zersetzende Kraft fortwährend an einem Punkte thätig ist, während an davon entfernten Punkten eine Regeneration des fraglichen Körpers irgendwie stattfindet. Dass solches in einer lebenden Zelle möglich sein kann, muss man zugeben, und wie obiges selbst in ziemlich einfacher Weise erreichbar ist, lehren Körper, welche im Licht dissociiren, im Dunklen aber sich wieder regeneriren. Wenn aber ein solch continuirlicher Process thätig ist, dann wird die Massenbewegung, welche z. B. durch Volumzunahme erzeugt wird, durch die Volumabnahme bei der an anderen Punkten stattfindenden Regeneration unterstützt; die an sich keine Volumänderung bedingenden diosmotischen Ströme schaffen aber fortwährend den unzersetzten Körper zu dem Zersetzungsorte und die Zersetzungsproducte von diesem weg nach den Stellen, wo sie regenerirt werden. Falls nun im Protoplasma derartige Strömungen thätig sein sollten, würden dadurch, wie leicht ersichtlich ist, ungelöste Körper wohl auch in bestimmte Gruppirungen gebracht werden können, wenn die sicher stets nur geringe Leistung dieser Strömungen nicht von anderen Kräften eliminirt wird. Ob freilich thatsächlich Gruppirungen, wie sie z. B. bei Zelltheilungen sich finden [1]), durch solche oder ähnliche chemische Actionen zu Stande kommen oder ob sie aus der Organisation und den damit verbundenen specifischen Molecularwirkungen entspringen, oder sonst irgendwie entstehen, wage ich auch nicht einmal vermuthungsweise auszusprechen.

Liegt ein Protoplasmakörper vor, welcher z. B. einen Kugelmantel um den Zellsaft bildet, so werden Strömungen der angegebenen Art auch die Gestaltung jenes beeinflussen können. Da wo Volumzunahme stattfindet strömt Flüssigkeit nach allen Seiten hin weg, und übt demgemäss auch einen mit der Zersetzung continuirlichen Stoss auf die Plasmamembran aus, welche, wie früher gezeigt wurde, schon durch eine sehr geringe Kraft gegen den Zellsaft hin ausgebaucht werden kann, wenn sich der hydrostatische Druck zu beiden Seiten der Plasmamembran constant erhält. Umgekehrt erfährt aber die Plasmamembran einen geringen Ueberdruck von Seite des Zellsaftes, wenn bei einem chemischen Process im Protoplasma Verdichtung stattfindet und eine Wasserströmung hierdurch veranlasst wird. Jede dieser geringen Leistungen, sowie beide zusammengenommen, könnten allmälig schon wesentliche Gestaltsänderungen im Protoplasma zu Stande bringen,

1) Siehe Strasburger, Zellbildung und Zelltheilung 1875.

Digitized by Google

wenn es sich hierbei nur um Ueberwindung geringer Widerstände handelt. Uebrigens ist zu beachten, dass der gegen die Plasmamembran treffende Wasserstrom die Durchpressung einer gewissen Wassermenge durch die Plasmamembran veranlassen und so zugleich die Ursache von bestimmt gerichteten Strömungen im Zellsaft werden kann.

Das soeben hinsichtlich der Wirkung von Strömungen auf Gestaltung des Protoplasmakörpers Gesagte, gilt natürlich auch für die auf beliebige andere Weise entstandenen Strömungen. Ich will hier nur noch darauf hinweisen, wie solche Strömungen auf osmotischem Wege entstehen können, wenn die osmotisch wirkenden Körper nicht gleichmässig in der Lösung vertheilt sind, was z. B. eine Folge local stattfindender chemischer Umwandlung sein kann, indem es ja einer gewissen Zeit bedarf, ehe durch Diffusion eine vollkommen gleichartige Vertheilung herbeigeführt ist.

Um die Sache klar zu machen, stellen wir uns einen hohlen Glascylinder vor, welcher an seinen beiden offenen Enden mit Membranen von derselben Beschaffenheit geschlossen und senkrecht in Wasser gestellt ist. In der unteren Partie des Glascylinders befinde sich eine concentrirtere Lösung eines nicht diosmirenden Stoffes, während eine verdünntere Lösung an die nach oben gerichtete Membran anstosse[1]). Die concentrirtere Lösung würde für sich allein einen höheren osmotischen Druck hervorbringen, als die verdünntere, in der Zelle selbst aber muss die endliche Druckhöhe zwischen diesen beiden Leistungen liegen und dann natürlich erreicht sein, wenn durch die beiden Membranen zusammengenommen ebensoviel Wasser durch Druck filtrirt, als durch osmotische Wirkung hineingeschafft wird. Der osmotisch erzeugte Einstrom schafft aber bei unserer Zusammenstellung durch die untere Membran in der Zeiteinheit eine grössere Menge Wasser, als durch die obere Membran, während durch beide, auf die Flächeneinheit bezogen, gleiche Wassermengen unter dem in der ganzen Zelle annähernd gleichen Druck filtriren und so muss denn ein Wasserstrom von der unteren zur oberen Wand so lange durch die Zelle gehen, als an beide Membranen Lösungen ungleicher osmotischer Wirkungen anstossen; kurz wir haben es dann mit einem kreisenden Wasserstrom zu thun. Wenn nun etwa in dem einen Kugelmantel bildenden Protoplasmakörper die Lösung nicht an allen Stellen von gleicher osmotischer Wirksamkeit ist, so wird auch hier ein kreisender, durch Zellsaft und Protoplasma

1) Es würde auf dasselbe hinauskommen, wenn ungleich osmotisch wirkende Lösungen aus verschiedenen Stoffen vorlägen.

Digitized by Google

gehender Wasserstrom entstehen können, welcher auf Gestaltung des Protoplasmakörpers in der vorhin erwähnten Weise wirken kann.

Als mögliche Ursachen für Bewegung und Gestaltänderung im Protoplasma (und Zellsaft) haben wir oben chemische Processe und osmotische Vorgänge kennen gelernt und wie die chemischen Reactionen auch immer zu Stande kommen, ob sie autonomen oder inducirten Ursprungs sind, der weitere Erfolg ihrer Wirkung kann ja übereinstimmend ausfallen. Wie sich diese Vorgänge in ihrem Verlauf innerhalb der lebenden Zelle sehr complicirt gestalten können, unterlasse ich darzulegen, und mache nur noch darauf aufmerksam, dass der Zersetzungsort auch dauernd verschoben werden könnte, eine Möglichkeit, welche namentlich hinsichtlich autonomer Auslösungen ins Auge zu fassen sein würde. Ferner sind Combinationen mit anderen Factoren möglich und erinnere ich daran, wie das relative Volumen von Protoplasma und Zellsaft sich ändern muss, wenn in einem dieser Körper die osmotische Wirkung variirt. Wenn z. B. der Zellsaft an Volumen zunähme und der zusammengedrückt werdende Protoplasmakörper an verschiedenen Stellen ungleichen Widerstand entgegensetzte, so könnte auch hierdurch eine Massenströmung im Protoplasma hervorgerufen werden und wiederholte Oscillation der Druckkraft, im Vereine mit veränderter Widerstandsfähigkeit im Protoplasma, würde sogar complicirte Strömungen bewirken.

Was bis dahin über Bewegungen im Protoplasma in Folge von Beleuchtungswechsel bekannt ist[1]), ermöglicht nicht zu folgern, durch welche bestimmten Vorgänge die Ortsveränderung des Protoplasmas zu Wege komme. Auch über die nächste mechanische Ursache der rotirenden und circulirenden Protoplasmaströmungen ist ja noch nichts Sicheres bekannt. Die derzeitige Sachlage darlegen will ich hier nicht, wo ich überhaupt nur auf einige Gesichtspunkte aufmerksam machen wollte, welche neben anderen ins Auge zu fassen sind, wenn Fragen für experimentelles Vorgehen zurecht gelegt werden sollen.

25. Auftrieb von Wasser durch die Zelle.

Es ist wohl nie bezweifelt worden, dass die sog. Wurzelkraft durch osmotische Leistung in Zellen zu Stande kommt und die fundamentale Frage ist, wie eine einzelne Zelle Wasser nach einer Seite hin hervorzupressen vermag. Thatsächlich sind auch einzellige Objecte bekannt,

1) Siehe Sachs, Lehrbuch IV. Aufl., p. 721.

Digitized by Google

welche Wassertropfen an bestimmten Stellen ausscheiden [1]). Die Ursache solcher Wasserausscheidung ist aber nicht, wie bisher immer angenommen ist, in specifischen Eigenschaften der Zellhaut, sondern in der Plasmamembran oder im Zellinhalt zu suchen und damit wird die Zellmechanik eines solchen Vorganges in ein wesentlich anderes Licht gestellt.

Um uns die Sache im Princip klar zu machen, haben wir nur die der Zellhaut angepresste Plasmamembran zu berücksichtigen und wollen annehmen, dass von den osmotisch wirkenden Stoffen nichts aus der Zelle diosmirt, welche wir uns zunächst frei in Wasser liegend denken dürfen.

Soll nun eine Hervorpressung von Wasser, oder was dasselbe sagen will, eine Wasserströmung durch die Zelle zu Stande kommen, so darf der Quotient aus dem durch Osmose bewirkten Einstrom und den durch Druck im Innern erzeugten Ausstrom von Wasser nicht für die ganze Oberfläche der Plasmamembran = 1 sein, sondern muss mindestens für einen Punkt einen grösseren und für einen anderen Punkt einen kleinern Werth haben. Die Druckhöhe, d. h. das Verhältniss zwischen Einstrom und Ausstrom, ist aber, wie früher gezeigt wurde, unabhängig von der Dicke der Membran und so folgt denn sogleich, dass jedenfalls eine ungleiche Dicke der sonst gleichartigen Plasmamembran nicht Ursache eines einseitigen continuirlichen Wasserstroms werden kann und somit auch nicht der Filtrationswiderstand, insofern er nur von der Membrandicke abhängt.

Unter zwei Bedingungen kann aber ein Wasserstrom durch eine Zelle entstehen, nämlich wenn in der Plasmamembran eine qualitative Differenz besteht oder wenn die Membran zwar gleichartig, aber nicht an allen Stellen dieser dieselbe osmotische Wirkung thätig ist.

Zwei qualitativ verschiedene Niederschlagsmembranen können ja mit derselben Lösung ungleiche osmotische Druckhöhe ergeben und wir wollen annehmen, dass diese für eine Membran *A* grösser ausfalle, als für eine Membran *B*. Wäre nun die eine Hälfte einer Zelle aus Membran *A* und die andere Hälfte aus Membran *B* gebildet, so würde die endliche Druckhöhe zwischen den Druckhöhen liegen, welche die allein aus *A* oder die allein aus *B* bestehenden Zellen für dieselbe Lösung ergeben würden. Dann überwiegt aber im Gleichgewichtszustand für Membran *B* der durch Druck erzeugte Wasserausstrom den osmotischen Wassereinstrom, während für *A* das Umgekehrte der Fall ist, und

1) Sachs, Lehrbuch IV. Aufl., p. 659.

Digitized by Google

in Folge dessen bewegt sich ein Wasserstrom in der Richtung von *A* nach *B* durch die Zelle, dessen Ausgiebigkeit durch den Unterschied zwischen Einstrom und Ausstrom in jeder der beiden Membranen bestimmt wird.

Ist aber die Membran gleichartig, während in verschiedenen Zonen der Zelle Lösungen ungleicher Concentration, oder überhaupt ungleicher osmotischer Leistung bestehen, so ist auch das Verhältniss zwischen Einstrom und Ausstrom für zwei gegebene Flächenstücke der Membran ein ungleiches und ein Wasserstrom muss von der wirksameren zu der weniger wirksamen Lösung hin durch die Zelle gehen, wie dieses schon früher auseinandergesetzt wurde (p. 222). Gleiches wird auch dann erreicht, wenn die Lösung in der Zelle zwar ganz homogen, die Zellhaut aber theilweise mit einer Lösung, theilweise mit Wasser (oder weniger wirksamen Lösung) imbibirt ist, indem da, wo die Lösung von aussen an die Plasmamembran stösst, die Druckhöhe um die osmotische Leistung verringert wird, welche die fragliche Lösung in der Plasmamembran zu Stande bringt.

Es würde nicht schwer sein einen Apparat zu construiren, um die Hervorpressung von Wasser unter den namhaft gemachten Bedingungen zu demonstriren. Man könnte zu dem Ende ein Glasrohr beiderseitig mit Thonplatten oder Thonzellen verschliessen, auf welche entweder dieselbe Membran oder verschiedene Niederschlagsmembranen aufgelagert werden müssten. Würde das untere Ende des Apparates in ein Wasserreservoir gestellt, während der obere Theil in ein Steigrohr hineinragt, so könnte dann auch die so erzeugbare Druckhöhe gemessen werden. Als verschiedene Membranen würden solche aus Ferrocyankupfer und Berlinerblau brauchbar sein, welche mit derselben Zuckerlösung ungleiche Druckhöhe ergeben und bei Anwendung gleichartiger Membranen handelt es sich darum, dass das einemal die Concentration der Lösung in der Zelle von unten nach oben abnimmt, während das anderemal, bei homogener Lösung im Innern, eine verdünntere Lösung eines Stoffes in das Steigrohr zu füllen wäre. Immer wird die vermittelst des Steigrohrs gemessene, dem Gleichgewichtszustand entsprechende Druckhöhe anzeigen, um wieviel die durch die untere Membran erzeugte Druckhöhe die durch die obere Membran hervorgebrachte Druckhöhe übertrifft, sei es nun, dass in qualitativer Differenz der Membran oder, unabhängig hiervon, in osmotischer Leistung der an die Membran stossenden Lösung (resp. Lösungen) die Ursache der einseitigen Hervorpressung von Wasser gegeben ist.

Dieser einseitige Ueberdruck würde aber in einer Pflanzenzelle nicht vollkommen gemessen werden, wenn das obere Ende der Zelle in

Digitized by Google

ein Steigrohr eingepasst wäre, weil der in diesem zu Stande kommende Druck eine gewisse Menge Wasser durch die imbibitionsfähige Zellhaut pressen wird, welche zwischen Anheftungsstelle des Steigrohres und die Plasmamembran eingeschaltet ist. Noch ungünstiger gestalten sich die Verhältnisse in Gewebecomplexen, in welchen Hohlräume, inactive und weniger active Gewebe Filtrationswege abgeben. Aus dem an einem Stumpf gemessenen Wurzeldruck geht also zunächst nur soviel hervor, dass in einzelnen Zellen Wasser mit höherer Kraft nach einer Seite hin hervorgepresst werden muss, als der Druck im Manometer anzeigt.

Liegt eine vollkommen turgescente Zelle frei in Luft, so kann sich, wenn Wasser nach einer Seite aus der Plasmamembran hervorgepresst wird und Verdunstung ausgeschlossen ist, fortwährend ein durch Zellinhalt und Zellhaut gehender circulirender Wasserstrom bewegen, indem das ausgepresste Wasser in der Zellhaut fortgeleitet und da wieder durch die Plasmamembran aufgenommen wird, wo der osmotische Wassereinstrom den Wasserausstrom überwiegt. Wenn aber diesen Stellen Wasser auf andere Weise zugeführt wird, so können sich natürlich am anderen Ende der Zelle Wassertropfen ausscheiden, sobald der osmotische Bedarf aus dem zugeführten Wasser leichter gedeckt werden kann.

Die osmotische Wirkung nicht diosmirender Inhaltsstoffe wird nur durch die Plasmamembran geregelt und wenn eine Ursache zu einseitiger Hervorpressung von Wasser durch diese nicht vorliegt, so kann ein solcher Vorgang, wie auf der Hand liegt, nicht durch die Beschaffenheit der Zellhaut herbeigeführt werden, vorausgesetzt, dass diese nicht von osmotisch wirkenden Stoffen imbibirt ist. Auf Ausgiebigkeit und Abwicklung des Vorganges wird allerdings die Zellhaut Einfluss haben, indem ja ihre Permeabilität für Zufuhr und Abfuhr von Wasser in Betracht kommt. Ist z. B. eine cuticularisirte Zellhaut für Wasser sehr schwer permeabel, so wird solches wesentlich nur an den nicht cuticularisirten Stellen ausgetauscht, resp. hervorgepresst werden.

Schwankt die osmotische Druckhöhe in der Zelle, so ändert sich die Druckhöhe, welche durch einseitige Hervorpressung von Wasser zu Stande kommt (ceteris paribus), in leicht abzuleitender Weise. Auch wird in Geweben durch Zunahme der Gewebespannung eine Zusammenpressung von Zellen zu Stande kommen können, wodurch dann das hervorgepresste Wasser in Richtung des geringsten Widerstandes in bevorzugtem Maasse fortströmt. Für Regelung dieses Wasserstromes fällt dann auch die Dicke der Plasmamembran und die Durchlässigkeit der

Digitized by Google

Zellhaut ins Gewicht, doch kann auch durch solche periodische Zusammenpressung und Wiederausdehnung ein dauernder Wasserstrom nicht bewirkt werden, indem auf dem Wege, auf welchem die grössere Wassermenge hervortritt, auch wieder die grössere Menge bei Nachlassen der Compression aufgesogen wird. Wenn freilich der Fortleitung des Wassers nach den beiden entgegengesetzten Richtungen ungleiche Widerstände entgegen ständen, würde eine gewisse Wassermenge nach einer Seite befördert werden, aber wenn auch solches zutreffen sollte, so kann doch der continuirliche Wasserstrom, wie ihn die blutende Pflanze zeigt, nicht durch solche periodische Oscillationen erzeugt werden. Es ist dieses auch ohne besondere Klarlegung sogleich einzusehen, wie auch, dass solche Oscillationen der Gewebespannung die Ausgiebigkeit der Wasserbewegung allerdings beeinflussen können.

Falls osmotisch wirkende Stoffe, entgegen unserer bisherigen Annahme, diosmiren, so bleiben doch die entwickelten allgemeinen Gesichtspunkte geltend und ich halte nicht für nöthig, speciell die möglichen Verwicklungen darzulegen, da diese unter gegebenen Voraussetzungen leicht abzuleiten sind. Aufmerksam sei nur darauf gemacht, wie z. B. in Geweben die die Zellhäute imbibirende Lösungen osmotisch wirksamer und damit die einseitige Hervorpressung von Wasser aus Zellen verstärkt werden kann.

Es ist bekanntlich Hofmeister's Verdienst zuerst eine wirkliche Erklärung der einseitigen Hervorpressung von Wasser aus Zellen versucht zu haben und der leitende Gedankengang war in der That glücklich gewählt, wenn auch die von Hofmeister gegebene und die auf diesem fussenden Erklärungen thatsächlich nicht ausreichten und nicht ausreichen konnten, so lange die Plasmamembran nicht in ihrer Bedeutung erkannt war. Ich halte es nicht für geboten, einige Irrthümer in der Interpretation derjenigen Versuche ausführlich aufzudecken, welche mit dem von Hofmeister construirten oder ähnlichen Apparaten[1] angestellt wurden. Es genüge darauf hinzuweisen, wie die Bedeutung des Filtrationswiderstandes unrichtig aufgefasst und meist auch übersehen wurde, dass Filtrationswiderstand, insofern er von Dicke der Membran oder von der Qualität der Membran abhängig ist, in wesentlich ungleicher Weise für die osmotische Leistung in Betracht kommt.

---

1) Siehe z. B. Sachs, Experimentalphysiologie 1865, p. 207.

Digitized by Google

Auch ist die Bedeutung des Umstandes übersehen worden, dass in dem Steigrohr des Apparates in Folge der Diosmose des in die Zelle eingefüllten Stoffes, eine relativ concentrirtere Lösung sich sammelte, als in der verhältnissmässig grossen Wassermenge, in welche die Zelle eingetaucht war.

Ist die Ursache einer einseitigen Hervorpressung von Wasser aus der Zelle in qualitativ ungleicher Beschaffenheit von Membrantheilen begründet, so kann ein solcher Wasserstrom unendlich lange fortdauern, ohne dass das System eine Aenderung erfährt, vorausgesetzt, dass nichts von dem gelösten Stoffe exosmirt. Dem Wesen der Sache nach ist hier aber nur dasselbe realisirt, wie in jeder Zelle, deren osmotischer Druck sich constant erhält, d. h. die Zahl der in der Zeiteinheit sich aus der Zelle und in die Zelle bewegenden Wassertheilchen ist dieselbe, nur ist in unserem Falle Ausstrom und Einstrom ungleichmässig auf die Flächenelemente der Plasmamembran vertheilt. Natürlich wird auch hier durch Reibung u. s. w. Arbeit (Kraft) in Wärme verwandelt, aber Wärme wird auch von aussen zugeführt, welche die lebendige Kraft der osmotisch wirkenden Molecüle und damit die davon abhängige osmotische Leistung selbst unverändert erhält, wenn die Temperatur constant bleibt[1]).

1) Ein solcher constanter Wasserstrom würde eventuell auch dann möglich sein, wenn der grösste Filtrationswiderstand der oberen Membran zukäme, welche der Strom von innen nach aussen durchwandert. Ein perpetuum mobile wäre dann aber doch noch nicht erfunden. Vgl. hierzu Mayer, Agriculturchemie 1871, Bd. I (I. Aufl.) p. 332. — Eine unbegreifliche Verwirrung hinsichtlich osmotischer Leistung im Organismus finden wir in N. J. C. Müller's Arbeiten (Botan. Untersuchungen IV, 1875—1876). So ist die Behauptung, es müsse der osmotische Wasserstrom proportional sein der in den Blättern gebildeten osmotisch wirkenden Substanz (p. 268), schon deshalb unrichtig, weil die osmotische Leistung von specifischer Qualität der durch Stoffwechselprocesse entstehenden Körper abhängig ist, und natürlich nicht durch Körpermasse und deren nach Wärmeeinheiten gemessenen Spannkraft bestimmt ist. In der obigen Behauptung liegt aber ein noch schlimmerer Irrthum, welcher augenfälliger in Folgendem hervortritt. Auf Seite 226 heisst es: »Der wirkliche endliche Zuwachs an osmotischer Spannung in der Kette ist von der Wurzel ganz unabhängig, deswegen kann von der Wurzel niemals ein Zuwachs an stromerhaltender Kraft ausgehen.« Abgesehen davon, dass die Wurzel doch auch Stoffe aus dem Boden aufnimmt, kann Kraftaufwand beim Transport eines Stoffes und osmotische Leistung nach geeigneter Umwandlung des Stoffes natürlich ausser allem Verhältniss stehen. So wird z. B. bei der Stärkewanderung das in Blättern producirte Material in die Wurzel gelangen können, ohne dass auf dem Wege hierher irgend eine bemerkenswerthe osmotische Spannung zu Stande kam, welche nun aber ungeheure Werthe erreichen kann, wenn innerhalb einer Zelle eine reichliche Menge Zucker aus Stärke entsteht und natürlich ist damit auch die Erzeugung einer sog. Wurzelkraft möglich, wenn in den fraglichen Zellen Bedingungen zum einseitigen Hervorpressen von Wasser gegeben sind. Mit ver-

Digitized by Google

Wenn aber der durch die Zelle gehende Wasserstrom von ungleicher Vertheilung osmotisch wirksamer Stoffe in der Zelle bedingt ist, so kann er nur so lange dauern, bis durch Diffusion oder überhaupt Mischung in der Zelle eine homogene Lösung hergestellt ist. Ebenso muss der Wasserstrom allmälig abnehmen, welcher dadurch entsteht, dass Flächenelemente der Membran von aussen mit einer osmotisch wirksamen Lösung in Berührung stehen. Ganz aufhören würde aber ein solcher Wasserstrom erst in unendlicher Ferne, wenn die hervorgepresste Flüssigkeit nur zur Verdünnung der äusseren Lösung diente, und diese immer nur mit einem bestimmten Theile der Membranfläche in Contact kommen könnte. Soll aber dieser Wasserstrom unverändert anhalten, so müssen anderweitige Vorgänge thätig sein, um ausserhalb der Zelle eine Lösung gleicher osmotischer Wirkung zu erhalten und ebenso ist eine Fortdauer des Wasserstromes, welcher durch ungleiche Vertheilung der osmotisch wirksamen Stoffe innerhalb der Zelle entsteht, nur möglich, wenn gleichmässige Mischung im Protoplasma durch die Wirkung bestimmter Factoren verhindert wird. Die Möglichkeit solcher Vorgänge in der lebensthätigen Zelle muss zugegeben werden, zugleich ist aber auch ersichtlich, wie die Eliminirung der einer Mischung entgegenwirkenden Factoren zur Erklärung der Ursache des Hervorpressens von Wasser aus Zellen führen könnte, da ja der Wasserstrom sich vermindern und aufhören müsste, wenn er nicht von ungleicher Qualität der die Membran zusammensetzenden Flächenelemente abhängig ist.

Die bisherigen Experimentaluntersuchungen beziehen sich fast allein auf die sog. Wurzelkraft, wobei die gemessene Druckhöhe natür-

---

hältnissmässig geringer Arbeitskraft kann ja auch eine Pulvermasse aus der Fabrik in ein benachbartes Gebäude gebracht werden, um hier nach Entzündung durch den auslösenden Funken Leistungen gewaltigster Art zu vollbringen. Etwas ähnliches sehen wir bei der osmotischen Leistung, welche z. B. erst durch chemische Metamorphose eines Stoffes eingeleitet wird und auch bei anderen als osmotischen Vorgängen kann ein auslösender Process den Ort der Arbeitsleistungen bestimmen. Gerade auf dem Zusammenwirken von Kraftwechsel und Stoffwechsel beruht ja die besondere Gestaltung und Localisirung der Leistungen im Organismus und indem Müller dieses Zusammengreifen übersah, beging er einen fundamentalen Fehler, welcher nicht nur, wie eben gezeigt wurde, bei Beurtheilung der osmotischen Vorgänge zu Tage tritt, sondern auch in anderen Kapiteln, in welchen allgemeine Sätze über Beziehungen zwischen Entstehungsort chemischer Spannkraft und Vertheilung der Arbeitsleistung im Organismus aus physikalischen Principien ohne physiologische Umsicht entwickelt werden.

Digitized by Google

lich nur Resultante ist, aus der Kraft des Auftriebes, der Menge des in das Innere des Organs gepressten Wassers und der, mit dem Entstehen eines Druckes im Innern eingeleiteten Filtration nach aussen, deren Ausgiebigkeit von verschiedenen Umständen abhängig ist. Diese, und überhaupt die für die Wurzelkraft in Betracht kommenden Factoren, will ich hier nicht ausführlich darlegen, sondern nur auf einzelne wenige Punkte hinweisen. Zunächst ist zu beachten, dass die Zellhäute, welche die Peripherie eines Organes bilden, für Wasser in ungleichem Maasse und eventuell gar nicht durchlässig sind, wie solches ja die cuticularisirten oder verkorkten Zellhäute zeigen. Wo aber die Beschaffenheit der peripherischen Zellhäute Wasseraustausch zulässt, wird es wesentlich sein, ob alle peripherischen Zellen Wasser nach innen pressen. Gesetzt es thuen solches alle peripherischen Zellen mit gleicher Kraft in einem Organe, dessen Peripherie durch Zellen gebildet wird, welche ohne Intercellularräume aneinanderschliessen, so kann, ausser durch die Zellen selbst, Wasser nur durch die Seitenwände dieser nach aussen gepresst werden und aus der Ausgiebigkeit dieser Filtration einerseits und der als gleich angenommenen Hubhöhe der einzelnen peripherischen Zellen resultirt die factische Druckhöhe. Complicirter gestalten sich die Verhältnisse, sobald in denjenigen Zonen der Organe, in welchen die umkleidende Zellhaut Wasserdurchtritt gestattet, nicht alle Zellen gleich wirksam sind. In allen Fällen kann aber auch der Grad der Permeabilität der peripherischen Zellwände, resp. der äussersten Schicht in dieser, eine Rolle spielen und es ist leicht einzusehen, warum unter gegebenen Verhältnissen die Druckhöhe für eine gewisse Permeabilität ein Maximum werden muss. Uebrigens unterlasse ich zu zeigen, wie die Druckhöhe auch von der Gestaltung der Wege abhängig ist, welche dem aufsteigenden und absteigenden Wasserstrom im Innern von Organen zu Gebote stehen.

Der Sitz der Wurzelkraft ist von Hofmeister und anderen Autoren in die Wurzelspitzen verlegt worden und thatsächlich können abgeschnittene Wurzeln für sich Wasser hervorpressen, aber solche Versuche zeigen nicht, ob Zellen des Stengels und anderer Organe nicht in gleichsinniger Weise thätig sind. Ist auch nach der geringeren Druckhöhe, welche höher am Stengel angesetzte Manometer ergeben, wenigstens zu vermuthen, dass hauptsächlich die Wurzel Triebkraft entwickelt, so ist doch gewisse Thätigkeit anderer Zellen immer noch möglich und thatsächlich scheiden nach Sachs[1]) Stücke junger Grashalme an dem einen

1) Lehrbuch IV. Aufl., p. 660.

Digitized by Google

abgeschnittenen Ende Wassertropfen ab, wenn die andere Schnittfläche Wasser aufnehmen kann. Auch geht ja in Nectarien und manchen anderen Organen Ausscheidung von Wasser ohne Wurzelkraft vor sich.

Wäre eine aus künstlichen Apparaten gebildete Kette von Zellen gegeben, welche nur durch die trennenden Querwände Wasser passiren lässt[1]), so würde, wie leicht einzusehen ist, eine einseitige Wasserauspressung sowohl zu Stande kommen, wenn nur die untere, obere oder mittlere Zelle, als auch wenn alle Zellen in diesem Sinne thätig wären. Ebenso kann nun auch eine einseitige Wasserströmung in Geweben die Triebkraft Zellen verdanken, welche an der Wurzelspitze oder an irgend einer anderen Stelle liegen. Freilich wird es für Organe, in welchen auch inactive Gewebe und Räume vorhanden sind, am vortheilhaftesten sein, wenn die peripherischen Zellen überall da Wasser nach innen pressen, wo das Organ nach aussen von einer für Wasser permeablen Zellhaut abgeschlossen ist. Unter gewissen Umständen ist es sogar möglich, dass einseitige Hervorpressung von Wasser aus inneren Gewebezellen, an dem Querschnitt des Organes einen Wasserausfluss gar nicht zu Stande bringt.

Als Ursache für einseitige Hervorpressung von Wasser aus Zellen bleiben nach unseren Auseinandersetzungen nur wenige Möglichkeiten übrig, welche der Alternativen aber in der Pflanze maassgebend ist, lässt sich nach den vorliegenden Beobachtungen nicht sicher sagen und muss erst durch specielle Untersuchungen entschieden werden. Wo immer in der Zellhaut die imbibirende Lösung nicht gleichmässig vertheilt ist, d. h. eine ungleiche osmotische Wirkung im Contact mit der Plasmamembran zu Stande bringt, muss ein einseitiger Wasserstrom in dieser Zelle nothwendig entstehen. Wird auch die Zellhaut fast immer nur von Lösungen geringer Concentration durchtränkt und kommt zudem nur die Differenz in der osmotischen Wirkung der imbibirenden Lösung in Betracht, so darf doch dieser Factor keineswegs unterschätzt werden, denn eine einprocentige Salpeterlösung, deren specifisches Gewicht nahezu 1,006 ist, hebt in einer Ferrocyankupfermembran eine Quecksilbersäule von 175 Ctm. und bringt so eine höhere Wirkung hervor, als bislang für die Wurzelkraft gemessen wurde[2]). Wie man sieht,

1) Es könnte dieses ein Glasrohr sein, welches durch Membranen in eine Anzahl Kammern getheilt wurde.

2) Hales hat Hebung des ausgepressten Saftes bis 36 Fuss beobachtet; nach Clark (Flora 1875, p. 559) soll eine Birke einen Druck von 77 Fuss hervorgebracht haben. — Bei Weinrebe fand Unger (Frühlingssäfte d. Pflanze p. 6 d. Separatabdruckes aus den Sitzungsber. der Wiener Acad. 1857, Bd. XII) das specifische Gewicht des Blutungssaftes zwischen 1,0001 und 1,0012. Dabei war das specif. Gewicht geringer für Säfte, welche höher am Stamme abgezapft wurden.

Digitized by Google

würde selbst die von einer $^1/_{10}$ procentigen Salpeterlösung erzeugte Druckkraft noch ganz respectabel sein und einen gewissen einseitigen Wasseraustritt aus einer Zelle muss jede geringe Differenz in der osmotischen Wirkung der von aussen anstossenden Lösung zu Stande bringen.

Wird z. B. eine Wurzel von einer Lösung umspült, welche in geringerem Grade osmotisch wirksam ist, als die Flüssigkeit, welche die seitlichen und die nach innen zu gewandten Zellwände imbibirt, so sind ja die Bedingungen zur Entstehung einer Wurzelkraft gegeben und durch Stoffwechselprocesse, sowie durch Exosmose von Stoffen aus inneren Zellen, könnten diese Bedingungen auch dauernd unterhalten werden und zwar nicht nur in den peripherischen Zellen der Wurzel, sondern auch in inneren Gewebezellen. In wie weit einseitige Hervorpressung von Wasser auf diesem Wege zu Stande kommt, müssen erst specielle Untersuchungen feststellen. Kenntniss des specifischen Gewichtes der Flüssigkeiten und der Aschenbestandtheile reicht natürlich da nicht aus, wo es auf osmotische Leistung ankommt und so unterlasse ich denn überhaupt auf Grund einer Vergleichung der Zusammensetzung einer Nährlösung und der beim Bluten ausfliessenden Flüssigkeit Betrachtungen anzustellen. Uebrigens kann durch die Strömung beim Saftausfluss eine osmotische Ungleichheit in der Zellhaut verstärkt oder hervorgerufen werden und in dieser Hinsicht würde sich dieselbe Pflanze nicht ganz gleich verhalten müssen, wenn sie aus einer Schnittwunde blutet oder wenn die Flüssigkeit im Innern nur unter hoher Spannung steht.

Um an einzelligen Objecten das Hervortreten eines Wassertropfens zu veranlassen, bedarf es offenbar einer so geringen Differenz in der osmotischen Wirkung der Zellhautflüssigkeit, dass diese auch in der Zellhaut einer einzelligen Pflanze bestehen könnte. Auf dem hier ins Auge gefassten Wege mögen wohl auch Nectarabscheidungen und ähnliche Absonderungen von Flüssigkeit zu Stande kommen. Ist einmal ausserhalb der Zelle eine osmotisch wirkende Lösung vorhanden, so muss diese ja in dem bezeichneten Sinne wirken und um die nöthigen Bedingungen für Auspressung von Wasser nach aussen dauernd zu unterhalten, kann neben anderen Ursachen der Umstand in Betracht kommen, dass vielleicht eine kleine Menge von Colloiden in dem Nectar gelöst ist, welche in der Zellhaut nicht oder kaum imbibirt werden. Der erste Anstoss zu einer solchen einseitigen Wasserauspressung wird aber durch eine beliebig entstehende Ansammlung einer osmotisch wirkenden Lösung an geeigneter Stelle gegeben sein, sei es nun, dass zu

Digitized by Google

dem Ende der Zellinhalt einen Stoff nach aussen abgibt, oder dass ein löslicher Körper durch Metamorphose der Zellhaut entsteht oder auf andere Weise herbeigeschafft wird.

Ausreichend zur Erzeugung der Wurzelkraft ist aber der durch osmotische Wirkung der Zellhautflüssigkeit bewirkte Wasserstrom nicht, welcher übrigens auch unter gegebenen Verhältnissen im negativen Sinne ausfallen könnte. Ausserdem können noch, wie vorhin gezeigt ist, Verschiedenheiten in der Qualität der Plasmamembran, und bei gleichartiger Membran, ungleiche Vertheilung der osmotischen Wirkung des Zellinhaltes Ursachen für eine einseitige Hervorpressung von Wasser werden, doch ist zur Zeit nicht zu sagen, ob und in wie weit einer dieser oder beide Factoren Bedeutung für die Wurzelkraft, und Hervorpressung von Wasser überhaupt, haben. Eine gewisse Ungleichheit in der osmotischen Wirkung ist in verschiedenen Theilen desselben Protoplasmakörpers wohl möglich, wenn Stoffwechselprocesse derart verlaufen, dass in keinem Augenblick eine Ausgleichung durch Diffusion erzielt wird. Uebrigens muss es nach Obigem wahrscheinlich erscheinen, dass nicht jede Hervorpressung von Wasser aus einer Zelle auf dieselbe Weise zu Stande kommt.

Durch welche mechanische Vorgänge die Periodicität des Saftausflusses bedingt ist, muss auch erst auf experimentellem Wege entschieden werden. Hier ist denn auch die Schwankung der Gewebespannung ins Auge zu fassen, welche vermöge der veränderten Druckwirkung eine gewisse, aber nur begrenzte Vermehrung oder Verminderung der absoluten Ausflussmenge herbeiführen kann, aber nicht herbeiführen muss. Nach den vorliegenden unbestimmten Angaben lässt sich nicht wohl mit Sicherheit sagen, ob auch die Höhe einer durch die Wurzelkraft gehobenen Quecksilbersäule tägliche oder andere periodische Schwankungen ausführt und wenn dieses der Fall ist, wie diese Druckschwankungen mit der Ausflussmenge harmoniren. Letztere ist ja nicht nur von der Triebkraft, sondern auch von dem Filtrationswiderstand der Plasmamembran und anderen Hemmungen abhängig und so lässt sich schon dieserhalb nicht a priori sagen, ob die grössere Druckhöhe der geringeren oder der grösseren Ausflussmenge entspricht. Uebrigens kann vielleicht ein umsichtiges Studium der durch die Wurzelkraft erzeugten Druckhöhe und der Ausflussmenge, unter Berücksichtigung anderer periodischer Vorgänge in den Untersuchungsobjecten. die Mittel liefern, um die Zellmechanik zu durchschauen, welche der Wurzelkraft zu Grunde liegt.

Wie das Phänomen des Blutens sich an geköpften Pflanzen gestaltet,

Digitized by Google

ist es jedenfalls ein erblicher Vorgang, dessen Ausgiebigkeit durch verticale Umkehrung der Pflanze höchstens beeinflusst werden könnte[1]). Für die freie einzelne Zelle, und ebenso für die einzelnen activen Zellen in Geweben, muss aber nothwendig experimentell entschieden werden, ob man es hier mit einem erblichen oder inducirten Vorgang zu thun hat. Letzteres kann jedenfalls nicht ohne weiteres von der Hand gewiesen werden, so lange nicht festgestellt ist, ob die Schwerkraft in Beziehung zur Richtung des austretenden Wasserstromes steht, was möglicherweise wieder nur für bestimmte Objecte gelten könnte. Sollte aber eine solche Beziehung bestehen, dann würden sich vielleicht durch experimentelle Untersuchungen wichtige Anhaltspunkte finden lassen, um auch über den Auslösungsvorgang Klarheit zu erhalten, welcher geotropische Krümmung herbeiführt.

26. Zusammenfassung einiger Resultate.

Aus dem physiologischen Theile habe ich hier nur diejenigen Resultate hervorgehoben, welche die Fundamente aller dort angestellten Betrachtungen bilden.

Physikalischer Theil.

Durch Traube's Niederschlagsmembranen dürften Körpertheilchen nicht passiren können, ohne in den Bereich der von den Membrantheilchen ausgehenden Molecularkräfte zu kommen. (Moleculare Osmose.)

Durch die Diosmose kann die relative Moleculargrösse gelöster Körper nicht ohne weiteres bestimmt werden.

Wenn der wirkende Körper nicht diosmirt, wird in einer gegebenen Membran die maximale osmotische Druckleistung zu Stande kommen. Demgemäss wird eine weitere gegenseitige Annäherung der Membrantheilchen, ceteris paribus, eine Drucksteigerung nicht herbeiführen.

Die Druckhöhe ist unabhängig von der Dicke der Membran, mit welcher natürlich die Ausgiebigkeit der in eine Zelle gerichteten Wasserbewegung abnimmt.

Die osmotische Triebkraft hängt ab von den zwischen Membrantheilchen, Wasser und gelöstem Körper wechselseitig wirkenden Mole-

1) Eine geköpfte Dahlia blutete, wie vorauszusehen war, nach Umkehrung sehr ausgiebig weiter, doch habe ich die in dieser Lage und in vertical aufrechter Stellung ausfliessenden Wassermengen nicht vergleichend bestimmt.

Digitized by Google

cularkräften, durch welche an der Membranfläche eine Zone von veränderter Zusammensetzung, die Diffusionszone, constituirt wird.

Da, neben der Constitution der Diffusionszone, die Anziehung zwischen den Theilchen des gelösten Körpers und des Wassers die osmotische Triebkraft bestimmt, so wird, wenn Exosmose nicht stattfindet, im allgemeinen die Druckhöhe für einen schnell diffundirenden Körper höher ausfallen, als für einen langsam diffundirenden Körper. Ein einfaches Verhältniss zwischen Druckhöhe und Diffusionsconstante kann natürlich nicht bestehen, weil verschiedene Körper eine ungleich constituirte Diffusionszone bilden.

Demgemäss erzeugen in Traube's Niederschlagsmembranen Krystalloide eine ganz unverhältnissmässig höhere Druckkraft als Colloide. Dagegen kann in Pergamentpapier, Thierblase u. s. w. die Wirkung der Colloide unter Umständen die der Krystalloide sogar übertreffen, weil die Leistung dieser leicht diosmirenden Körper viel weiter hinter der maximalen Druckhöhe zurückbleibt, als die Leistung der schwieriger diosmirenden Krystalloide.

Die osmotische Druckhöhe nimmt mit der Concentration der Lösung in einem für jeden gelösten Körper und jede Membran specifischen Verhältniss zu. In derselben Membran wachsen, falls der wirkende Körper nicht diosmirt, der osmotisch erzeugte Wassereinstrom und die Druckhöhe in annähernd gleichem Verhältniss, indem die filtrirende Wassermenge dem Druck proportional ist. Es geht hieraus auch hervor, dass die Constitution der Diffusionszone von einem einseitigen Wasserstrom nicht wesentlich beeinflusst wird.

Temperaturschwankungen werden durch Erweiterung der Räume zwischen den Membrantheilchen keinen Einfluss auf die Druckhöhe haben, so lange der wirkende Körper nicht diosmirt. Im allgemeinen werden aber Druckschwankungen durch äussere Eingriffe zu Stande kommen, wenn durch Modificationen in der Membran oder im Zellinhalt die Constitution der Diffusionszone oder die Molecularwirkung zwischen Wasser und gelöstem Körper geändert wird.

Physiologischer Theil.

Ueber Aufnahme oder Nichtaufnahme eines gelösten Körpers in das Protoplasma entscheidet eine peripherische Schicht dieses, die Plasmamembran, welche sicher überall da gebildet wird, wo Protoplasma an eine andere wässrige Flüssigkeit stösst.

Digitized by Google

Ein durch die Plasmamembran diosmirender Körper muss sich im Protoplasma, resp. im Zellsaft verbreiten, wenn nicht besondere Vorgänge, etwa chemische Bindung, den eingedrungenen Körper an bestimmten Punkten fixiren.

Die hohe Druckkraft in Pflanzenzellen ist durch osmotische Wirkung gelöster Inhaltsstoffe in der Plasmamembran bedingt, in welcher, ähnlich wie in gewissen künstlichen Niederschlagsmembranen, krystalloide Körper am meisten leisten.

Indem das Protoplasma auch gegen den Zellsaft durch eine Plasmamembran abgegrenzt ist, gleicht die Zelle in osmotischer Hinsicht einem aus zwei ineinandergeschachtelten, ungleich grossen Zellen gebildeten Systeme.

Druck von Breitkopf und Härtel in Leipzig.

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

1426
P47

PFEFFER c. 1 1426 P47
Osmotische untersuchungen
[redacted]

DATE	ISSUED TO
4/26/08	A.W. Ruesink Rm. 496

Return this book on or before the last date stamped below

MAY 3 1966

5

Library Bureau Cat. no. 1174

[redacted]

Digitized by Google

Digitized by Google